

L'UTILISATION DES TERRES HUMIDES À DES FINS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET DES EAUX PLUVIALES AU CANADA



terres
humides
DURABLES

COMMUNICATION n° 1994 - 1

PUBLIÉ EN PARTENARIAT AVEC :



Environnement
Canada

Environment
Canada

Service canadien
de la faune

Canadian Wildlife
Service



Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada)

Imprimé en 1994
Ottawa (Ontario)

ISBN : 0-662-99-557-0
N° de catalogue : CW69-10/1994-1F

Ce document a été préparé par M. John H. Pries, de CH2M HILL Engineering Ltd., de Waterloo (Ontario), en vertu d'un contrat passé avec le Secrétariat du Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada). Il s'agit d'un travail financé par le Service canadien de la faune d'Environnement Canada.

Les opinions et les commentaires dans ce rapport sont ceux de l'auteur et ne représentent pas nécessairement les points de vue du Conseil nord-américain de conservation des terres humides (CNACTH) (Canada) ou du gouvernement du Canada. Ni le CNACTH (Canada) ni le gouvernement du Canada n'endossent pas automatiquement le fait d'identifier des produits par leur nom.

La *Série de communications sur les terres humides durables* est publiée par le Secrétariat au Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada). Elle est consacrée à la publication de rapports portant sur la gestion, les politiques et les aspects scientifiques, relatifs aux terres humides, importants pour le Canada. L'objectif de la série est de rendre les Canadiens davantage conscients de l'importance d'une utilisation prudente et de la conservation des écosystèmes que représentent les terres humides, et de leur valeur en tant que ressource naturelle.

On peut obtenir le présent rapport en s'adressant au :

Secrétariat
Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada)
Suite 200, 1750, Courtwood Crescent
Ottawa (Ontario) K2C 2B5

Couverture : Une terre humide tranquille, Delta (Colombie-Britannique).
Photo : C. Rubec

This report is also available in English.



Imprimé sur papier recyclé



Plus de 50 p. 100 de papier
recyclé dont 10 p. 100 de fibres
post-consommation.

M. Marque officielle d'Environnement Canada



**L'UTILISATION DES TERRES HUMIDES
À DES FINS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES
ET DES EAUX PLUVIALES AU CANADA**

par

John H. Pries

**terres
DURABLES
humides**

Communication n° 1994 - 1



Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada)

Résumé	1
Préface	2

Table des matières

Un aperçu des terres humides au Canada	2
Développement et classification des terres humides	2
Répartition des terres humides au Canada	3
Introduction à l'utilisation des terres humides à des fins de traitement des eaux usées et des eaux pluviales	4
Les systèmes de terres humides d'épuration	4
Établissement des systèmes de terres humides d'épuration construites	4
Les types de systèmes	4
Les terres humides naturelles	4
Les terres humides construites à écoulement en surface	5
Les terres humides construites à écoulement souterrain	6
Les systèmes de plantes aquatiques flottantes	6
Utilisation des terres humides à des fins de traitement des eaux usées et des eaux pluviales	7
Les eaux usées urbaines	7
Les eaux usées industrielles	7
Les eaux de ruissellement des parcs d'engraissement	7
Les eaux de ruissellement pluviales des fermes	8
Glycol des aéroports et eaux pluviales des exercices d'incendie	8
Les parcs nationaux et provinciaux	8
Les terres des Autochtones et des Premières nations	8
Les collectivités du Nord	9
Les eaux pluviales	9
Pâtes et papiers	10
Séchage des boues et réduction de la matière organique sous forme solide	10
Eaux d'exhaure acides	10
Considérations relatives à l'exploitation	11
Rendement général des terres humides dans le traitement des eaux usées	11
Coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien	15
Dimensionnement	15
Permis nécessaires	15
Les effets sur le biote	15
Problèmes	15
Questions et préoccupations	16

Exemples de terres humides construites servant au traitement des eaux usées au Canada	20
Les terres humides utilisées pour le traitement des eaux usées et des eaux pluviales au Canada	25
Répartition nationale	25
Résumé de la situation dans les provinces et dans les territoires	25
Yukon	30
Territoires du Nord-Ouest	30
Colombie-Britannique	30
Alberta	31
Saskatchewan	31
Manitoba	32
Ontario	32
Québec	33
Nouveau-Brunswick	33
Nouvelle-Écosse	34
Île-du-Prince-Édouard	34
Terre-Neuve et Labrador	35
Conclusions	35
Références	36
Autres ouvrages	38
Sources canadiennes	38
Sources étrangères	45
Annexe A : Méthodes de conception et d'aménagement des terres humides d'épuration	50
Annexe B : Estimation de la superficie requise d'une terre humide d'épuration des eaux usées	63
Annexe C : Base de données sur les terres humides d'épuration des eaux usées et des eaux pluviales au Canada	64

Au Canada, l'observation des règlements touchant l'environnement pose maints problèmes aux municipalités et aux industries, eu égard notamment aux normes de plus en plus rigoureuses appliquées au rejet d'effluents dans les eaux de surface. Compte tenu de la diversité et du volume des effluents provenant des installations d'épuration des eaux usées, il faut examiner de nombreuses techniques afin de trouver un mode de gestion des effluents à la fois fiable et rentable dans tous les cas. Les limites admissibles applicables aux effluents devenant de plus en plus contraignantes, les techniques novatrices pourraient offrir des moyens économiques et nouveaux de satisfaire aux règlements.

Les terres humides construites constituent un moyen novateur de relever ces défis grandissants. Elles se sont révélées efficaces pour réduire les concentrations de plusieurs polluants types présents dans les effluents industriels et urbains, tels la demande biochimique en oxygène, les matières solides totales en suspension et les éléments nutritifs. Constituant une technique «naturelle», les terres humides construites exploitent des sources naturelles d'énergie, soit l'énergie solaire et l'énergie éolienne. Par rapport à beaucoup de techniques classiques faisant appel à des combustibles fossiles concentrés, les techniques reposant sur des sources naturelles d'énergie agissent sur de plus grandes étendues.

Les terres humides construites font intervenir plusieurs des processus chimiques, physiques et biologiques que l'on retrouve dans les systèmes d'épuration classiques. Comme ces processus se déroulent sur une plus grande superficie, la matière organique sous forme solide est dégradée sur place par l'action des micro-organismes; il n'est donc pas toujours nécessaire de récupérer et d'éliminer les boues ou les végétaux. Les terres humides construites n'exigent pas le recours à des formes d'énergie ou à des produits chimiques coûteux; leurs coûts d'exploitation sont donc plus faibles que ceux des autres procédés d'épuration. De plus, la création de communautés végétales productives en terre humide et de chaînes alimentaires naturelles

peut offrir des avantages secondaires pour la faune et permet d'accroître la valeur des industries qui investissent dans cette technique naturelle.

Au Canada, un nombre croissant de municipalités et d'industries effectuent des recherches sur l'utilisation des terres humides construites afin de mieux s'acquitter de leurs obligations en matière de gestion des eaux usées. Beaucoup d'industries, d'organismes de réglementation et de municipalités organisent des ateliers et des cours afin de mieux connaître les possibilités qu'offrent les terres humides en matière d'épuration des eaux usées, et nombre d'entre eux mettent en oeuvre des projets-pilotes. Ainsi, plus de quarante-cinq terres humides à l'échelle ont déjà été aménagées à cette fin.

Le présent rapport résume pour la première fois l'état des terres humides construites au Canada; il décrit les différents types de terres humides, leur utilisation, leur rendement, leurs coûts et leur répartition à l'échelle nationale. Plus d'une centaine d'entrevues avec des particuliers et des représentants d'organismes canadiens ont permis de recueillir des données de base sur la diversité des terres humides construites à des fins d'épuration, et qui sont exploitées ou projetées au Canada. Le rapport contient également des lignes directrices relatives à une étude de faisabilité et à l'aménagement d'une terre humide d'épuration ainsi qu'une bibliographie détaillée sur tous les aspects de l'épuration des eaux usées en terre humide.

À en juger par le grand nombre de terres humides actuellement exploitées à des fins d'épuration au Canada, par les travaux de recherche en cours et par les résultats positifs consignés à ce jour dans le cas des installations en grandeur réelle, il y a lieu de penser que les terres humides construites seront de plus en plus considérées comme un moyen viable et économique de traiter les eaux usées et les eaux pluviales d'origine urbaine, industrielle et agricole, au Canada.

Résumé

La gestion efficace des terres humides et la qualité des eaux sont des questions d'importance vitale pour notre pays. La conservation de ces milieux est devenue un important secteur de coopération entre le Secrétariat du Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada) et la Direction de la conservation de l'eau et des habitats du Service canadien de la faune. Le rapport qui suit, intitulé *L'utilisation des terres humides à des fins de traitement des eaux usées et des eaux pluviales au Canada*, constitue un nouvel exemple des efforts conjoints déployés pour attirer l'attention du pays sur les questions relatives aux terres humides d'intérêt pour les Canadiens.

Le gouvernement du Canada demeure attaché aux objectifs qu'il a rendus publics dans la *Politique fédérale sur la conservation des terres humides*. Parmi ces objectifs, mentionnons la mise à la disposition des Canadiens des moyens et des informations sur les ressources en terres humides et l'encouragement des recherches novatrices sur les méthodes à utiliser en matière de conservation et de gestion de ces habitats naturels.

Le recours aux terres humides (construites ou naturelles) pour traiter les eaux usées et les eaux pluviales devient une question qui se pose quotidiennement en matière de gestion des terres et des eaux pour les planificateurs et pour les spécialistes des habitats naturels, partout au Canada. Le présent rapport constituera une introduction utile sur le sujet pour les praticiens canadiens et pour le public en général. Naturellement, un tel rapport doit être considéré comme un complément à des recherches exhaustives et à des analyses environnementales approfondies, lesquelles demeurent essentielles à une véritable étude d'environnement. Ce rapport fournit un bref aperçu de la nouvelle technique d'épuration des eaux usées en terre humide, dans une optique d'amélioration de la qualité de cette terre que nous, les Canadiens, partageons avec la nature.

James D. McCuaig
Directeur, Conservation de
l'eau et des habitats
Service canadien de la faune
Environnement Canada

Préface

Développement et classification des terres humides

Les terres humides se répartissent en cinq classes : les bogs, les fens, les marécages, les marais et les eaux libres peu profondes. Au Canada, la définition de ces termes et les méthodes utilisées pour distinguer les terres humides ont été élaborées par le Groupe de travail national sur les terres humides (GTNTH) (1987, 1988). Chacune des cinq classes mentionnées peut être subdivisée en un certain nombre de «formes» diverses, en fonction de facteurs paysagers, hydrologiques et physiques ainsi qu'en fonction de «types» liés aux caractéristiques de la végétation.

On trouvera une analyse détaillée de la classification des terres humides dans *Terres humides du Canada* (GTNTH 1988). Les grandes classes de terres humides sont brièvement décrites ci-dessous.

Bog Le bog est une tourbière ombrotrophe où le niveau de la nappe phréatique se situe au ras du sol ou près de la surface du sol.

Il peut être arboré ou non. La richesse en espèces végétales y est limitée, à cause de l'acidité du milieu et de sa pauvreté en éléments nutritifs; *Sphagnum* spp. et des éricacées arbustifs y sont habituellement présents.

Fen Le fen est une tourbière minérotrophe où le niveau de la nappe phréatique affleure ou se situe juste au-dessus de la surface du sol. La flore peut comprendre des liches, des herbacées, des roseaux, des mousses brunes, certaines espèces de *Sphagnum*, des éricacées arbustifs et des arbres.

Un aperçu des terres humides au Canada

Marécage Le marécage est une terre humide ou une tourbière minérale caractérisée par la présence de mares ou de chenaux dans lesquels l'eau stagne ou s'écoule très lentement. La nappe phréatique affleure ou se trouve immédiatement sous la surface du sol. La végétation est caractérisée par la présence d'un dense couvert de conifères, de feuillus ou d'arbustes, d'herbes et de quelques mousses.

Marais Le marais est une terre humide minérale périodiquement inondée par des eaux stagnantes ou à écoulement lent. Le niveau des eaux de surface peut fluctuer selon les saisons, et ces eaux peuvent varier de douces à très salées. La végétation comprend des zones de laïches, d'herbes, de joncs et de roseaux émergents, entre-coupées d'étendues d'eau libre et de plantes aquatiques.

Eau peu profonde L'eau peu profonde constitue des terres humides minérales inondées en permanence ou par intermittence et comprennent des étendues d'eau libre, stagnante ou courante. Les rives, les slikkes, les lacs peu profonds, les étangs, les mares, les eaux de laisse, les chenaux et autres formes semblables font partie de cette classe. La végétation, lorsqu'elle existe, se compose de plantes aquatiques submergées ou flottantes.

Répartition des terres humides au Canada

Les terres humides se rencontrent par endroits dans tous les types de paysages partout au Canada, le long des lacs, des rivières et des ruisseaux ou encore dans d'autres endroits où la nappe phréatique se situe près de la surface du sol. Les marais et les marécages restent mouillés durant la plus grande partie de l'année; c'est ce genre d'endroits auxquels pensent beaucoup de Canadiens habitant les régions du sud du pays lorsqu'ils entendent parler de «terres humides». Au Canada, la répartition des terres humides obéit à plusieurs facteurs, notamment aux conditions hydrologiques de surface et à l'interaction de phénomènes climatiques et topographiques. Les 127 millions d'hectares de terres humides se rencontrent dans toutes les régions du pays. Environ 90 % sont des tourbières, soit des endroits où prédominent les sols tourbeux d'une profondeur de plus de 40 cm. On a

procédé à de vastes inventaires des terres humides et des tourbières dans plusieurs régions du Canada, y compris dans les estuaires du Pacifique, dans le sud des Prairies et de l'Ontario, dans le sud et l'est du Québec ainsi que dans la plus grande partie des provinces de l'Atlantique, à l'exclusion du Labrador.

Les facteurs d'ordre climatique et topographique influent sur le type de terre humide présente dans une région. Au Canada, les facteurs climatiques permettent de distinguer 20 régions de terres humides, elles-mêmes subdivisées en sous-régions (GTNTH 1986). On trouvera une analyse de la répartition des terres humides et de leurs caractéristiques dans *Terres humides du Canada* (GTNTH 1988).

Sur le plan écologique, les terres humides remplissent des fonctions multiples et constituent des éléments importants de maints paysages. Nombre de leurs fonctions répondent aux besoins de l'être humain : (a) *maintien de la vie* (régulation climatique, absorption des substances toxiques, stabilisation des processus de la biosphère, stockage de l'eau, épuration, cycle des éléments nutritives, support de la chaîne alimentaire, habitat, stockage de la biomasse, diversité génétique et biologique); (b) *sociales et culturelles* (spécimens pour la recherche, observation de la nature, photographie, observation des oiseaux, randonnée pédestre, canotage, traditions locales, religieuses et culturelles); (c) *production* (oiseaux, poissons, végétaux, fibres et suppléments des sols) (Cox 1993; Sheehy 1993; Bond *et al.* 1992; GTNTH 1988).

Au Canada, l'importance de la conservation, de la remise en état et de la protection des terres humides est reconnue par les pouvoirs publics, comme en témoignent la *Politique fédérale sur la conservation des terres humides* (Gouvernement du Canada 1991) et les mesures prises par les administrations provinciales et divers secteurs de l'économie canadienne (Cox 1993; Lynch-Stewart *et al.* 1993). L'aménagement de terres humides artificielles a suscité un intérêt croissant au Canada, comme moyen éventuel de compenser les pertes en terres humides causées par les activités humaines. Le recours aux terres humides comme substitut économique au traitement tertiaire classique des eaux usées est également de plus en plus accepté.

De toute évidence, les terres humides peuvent jouer un rôle dans le traitement des eaux usées dans les régions nordiques. Tributaires de l'énergie solaire, elles constituent des systèmes passifs, techniquement simples et faciles à exploiter. L'intervention d'un technicien qualifié n'est pas requise, ce qui présente un grand avantage pour une collectivité éloignée dont les ressources financières sont limitées. Sur le plan économique, le principal inconvénient de l'épuration en terre humide tient au coût du terrain, étant donné que cette technique exige une très grande superficie. Pourtant, cela pourrait s'avérer un avantage dans le cas de collectivités éloignées disposant de peu d'argent mais de beaucoup d'espace, car les coûts d'exploitation sont généralement très faibles.

Les terres humides doivent être aménagées de façon que leur régime hydraulique et leur superficie permettent d'obtenir des résultats conformes aux objectifs d'amélioration de la qualité de l'eau qui sont prévus dans divers règlements. Plusieurs paramètres réglementés sont traités efficacement par temps froid,

mais l'élimination de l'azote est considérablement ralentie. À l'heure actuelle, les modèles évoluent vers un mode d'écoulement des eaux qui permettra de réduire la superficie des terres humides. Les systèmes à écoulement souterrain vertical intermittent se révèlent beaucoup plus efficaces pour l'élimination de l'azote.

Par ailleurs, il n'est pas nécessaire de s'en remettre aux lents processus hivernaux. De nombreuses installations nordiques stockent les eaux usées pendant la saison non végétative, pour les rejeter ensuite en terre humide au cours des mois chauds du printemps, de l'été et de l'automne. L'avantage de cette solution réside dans le fait que les données conceptuelles relatives aux installations fonctionnant par temps chaud sont disponibles; l'inconvénient réside dans le coût des bassins de stockage.

Introduction à l'utilisation des terres humides à des fins de traitement des eaux usées et des eaux pluviales

Établissement des systèmes de terres humides d'épuration construites

On aménage des terres humides à des fins diverses, dont la production d'espèces fauniques, le stockage des eaux de crue, l'élimination et la rétention des polluants ainsi que l'embellissement du paysage. L'aménagement comprend les étapes suivantes :

- la définition des buts et des objectifs du projet;
- la délimitation de la superficie requise;
- l'évaluation des divers emplacements possibles et la sélection de l'un d'entre eux;
- l'analyse de l'avant-projet;
- l'obtention des permis;
- l'établissement du projet définitif et du projet d'exécution;
- l'aménagement de la terre humide;
- la surveillance et l'entretien de l'installation après son aménagement.

Les types de systèmes

Outre les terres humides naturelles, trois types de terres humides construites servent à l'épuration des eaux : (i) les terres humides construites à écoulement en surface; (ii) les terres humides construites à écoulement souterrain; (iii) les systèmes de plantes aquatiques flottantes. Chacun de ces systèmes est décrit brièvement ci-après.

Les terres humides naturelles

Depuis de nombreuses années, les terres humides naturelles sont utilisées pour traiter et éliminer les effluents secondaires en Europe, aux États-Unis et au Canada. Il existe de nombreux exutoires d'eaux usées dans les terres humides naturelles partout au pays. Bien que la plupart des ces

Les systèmes de terres humides d'épuration

ouvrages n'aient pas été conçus à des fins de traitement des eaux usées et des eaux pluviales, des études ont permis de mieux comprendre la capacité des écosystèmes de terres humides naturelles d'assimiler les polluants et ont conduit à la conception de nouvelles installations de traitement naturel des eaux.

L'utilisation appropriée d'une terre humide naturelle pour le traitement des effluents secondaires ou des eaux pluviales exige la prise en compte de divers facteurs. Les recherches indiquent que l'on peut limiter toute modification du couvert végétal si les charges hydrauliques sont établies en fonction de la période hydrologique et du degré de tolérance des espèces végétales dominantes. Pour obtenir un rendement optimal, il faut bien répartir les eaux prétraitées dans la terre humide réceptrice. La solution idéale consiste à aménager un certain nombre de bassins, à les utiliser en alternance et à les isoler régulièrement du reste de l'installation, de façon à permettre des assèchements saisonniers.

Le rendement des terres humides naturelles en matière d'amélioration de la qualité des eaux fait l'objet d'une surveillance constante. D'après les études réalisées à ce jour, si l'aménagement est bien conçu, certaines terres humides naturelles peuvent s'avérer efficaces et économiques dans le traitement tertiaire des eaux usées et des eaux pluviales. Les systèmes de terres humides d'épuration naturelles qui existent au Yukon constituent un bon exemple à cet égard.

Les terres humides construites à écoulement en surface

Les terres humides construites à écoulement en surface sont généralement des bassins de retenue artificiels et peu profonds, où poussent des plantes émergentes enracinées. Ces dernières sont plantées par l'homme ou les lieux sont colonisés naturellement par des communautés

végétales pionnières. Certaines terres humides construites abritent des monocultures de quenouilles (*Typha* spp.) ou de

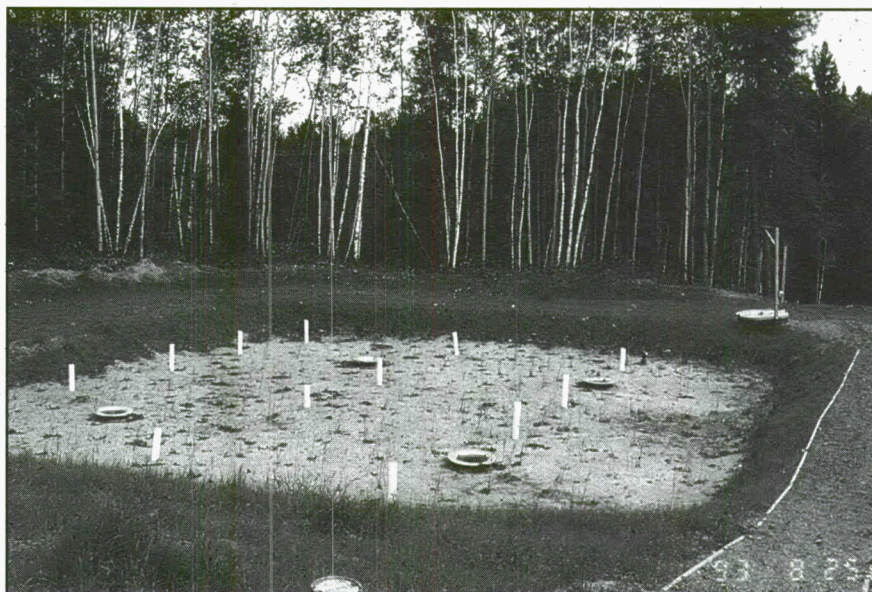


Photo : Les consultants RSA

Circulation verticale de première étape dans une terre humide «implantée» au zoo de Saint-Félicien (Québec).

scirpes (*Scirpus* spp.). D'autres renferment des communautés végétales plus diversifiées qui résistent mieux aux fluctuations des conditions saisonnières et hydriques.

Contrairement aux terres humides naturelles, où le régime hydrologique dépend largement des limites de tolérance de la communauté végétale existante, les terres humides construites à écoulement en surface peuvent être conçues de manière que l'on puisse modifier le niveau de l'eau et le temps de rétention, deux paramètres importants dont il faut tenir compte à l'étape de la conception du système. Elles peuvent également comporter des bassins parallèles ou successifs. Ce type de système permet d'avoir différents points de rejet et d'exploiter le pouvoir filtrant des diverses communautés végétales existantes. En outre, les coûts de construction, d'exploitation et d'entretien sont relativement faibles par rapport à ceux des procédés classiques de traitement tertiaire.

Ces terres humides construites ne sont habituellement pas récoltées aux fins de l'enlèvement des éléments nutritifs. La capacité d'assimilation naturelle des

micro-organismes (bactéries et champignons) fixés aux végétaux permet plutôt une élimination efficace et fiable des matières organiques biodégradables et de l'azote (ammoniac et nitrates). Les métaux et le phosphore peuvent être retenus dans les tissus des végétaux et dans les sédiments. Comme une grande partie du traitement en terre humide résulte de l'action des micro-organismes et non de l'assimilation par les plantes, le traitement se poursuit durant l'hiver, mais au ralenti toutefois, l'eau et la glace agissant comme une terre humide.

Les terres humides construites à écoulement souterrain.

Les terres humides construites à écoulement souterrain ressemblent à maints égards aux terres humides construites à écoulement en surface. Ces terres humides construites renferment souvent les mêmes essences végétales émergentes. Elles sont conçues de façon que les eaux usées s'écoulent à travers le substrat poreux sur lequel est fixée la végétation émergente. La grande surface fournie par le substrat poreux et les racines des plantes favorise l'activité microbienne. À volumes d'effluent égaux, les systèmes de terres humides construites à écoulement souterrain nécessitent une moins grande superficie que la terre humide construite à écoulement en surface.

Dans les régions froides, les systèmes de terres humides construites à écoulement souterrain présentent des avantages, car une bonne partie du traitement s'effectue sous la surface du sol. Ce type de système est donc moins sensible au temps froid. En outre, il nécessite relativement peu d'entretien et pose moins de problèmes d'odeurs et de moustiques qu'un étang. Enfin, il est particulièrement efficace pour éliminer les matières organiques biodégradables et l'azote des nitrates.

Ces terres humides construites à écoulement souterrain ont un gros désavantage en ce qu'elles ont tendance à se bloquer; leur coût global peut être de six à huit fois plus élevé que celui d'une terre humide construite à écoulement en surface:

Les systèmes de plantes aquatiques flottantes

Pour les systèmes de plantes aquatiques flottantes, on utilise des plantes macrophytes telles que les lenticules (*Lemna* spp. ou *Spirodela* spp.) pour le traitement des eaux usées. Ils ont été modélisés d'après de petites lagunes d'eaux usées «facultatifs»

«Les coûts de construction, d'exploitation et d'entretien des systèmes de terres humides construites à écoulement en surface sont sensiblement moindres que ceux des procédés classiques de traitement tertiaire.»

qui sont naturellement colonisées par des plantes flottantes pionnières et qui offrent un potentiel d'épuration amélioré pour satisfaire aux normes toujours plus exigeantes en matière d'effluents. Ces systèmes ont une grande capacité pour réduire les concentrations des métaux, des nutriments, des matières totales en suspension et de la demande biochimique en oxygène sur cinq jours.

Un de ces systèmes à lenticules qui se constitue en barrière flottante est un produit exclusif. Parmi les quelques systèmes naturels de traitement, il est considéré comme un de ceux qui peuvent, de façon constante, respecter une limite d'effluent de un milligramme de phosphore total ou moins par litre (mg/L), si on éclaircit périodiquement les plantes, sans modifier les installations ni ajouter de produit chimique. À ce jour, on dispose de peu d'information sur le concept, le coût et la performance de ce type de système; il est donc difficile de le comparer avec d'autres techniques de systèmes naturels.

Cependant, les systèmes de plantes aquatiques flottantes sont vulnérables au froid, aux ravageurs des végétaux et aux agents pathogènes. Les installations de polyculture qui abritent plusieurs espèces de plantes aquatiques flottantes offrent une solution moins exigeante en ce qui concerne les mesures de lutte contre les ravageurs. Des systèmes en serre peuvent également être envisagés dans les régions froides.

Le présent rapport vise à fournir aux urbanistes, aux industries et aux agriculteurs suffisamment d'informations pour leur permettre d'envisager l'utilisation de terres humides pour traiter les eaux usées et les eaux pluviales. Cette technique peut s'appliquer aux eaux usées et eaux pluviales de sources très diverses. Il pourrait s'avérer fort avantageux d'y recourir sur les terres fédérales et provinciales, car elle constitue une solution économique par rapport aux procédés classiques de traitement des eaux usées et des eaux pluviales. Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent une brève description de certaines applications possibles.

Les eaux usées urbaines

Pour ce qui est du traitement des effluents primaires et secondaires provenant des installations à boues activées et des étangs de stabilisation, des lixivats de décharge et des effluents de fosses septiques, l'efficacité des terres humides est bien établie. En général, le traitement en terre humide est pratiqué par les petites collectivités où le prix des terrains est raisonnable. Bon nombre de systèmes construits au Canada dans les régions les plus froides sont conçus en fonction de rejets saisonniers ou pour satisfaire aux directives d'organismes de réglementation ou pour permettre le traitement tertiaire des eaux usées.

Les eaux usées industrielles

Il existe plusieurs applications possibles en matière de traitement des eaux usées industrielles, y compris l'élimination des métaux et la correction du pH des eaux de ruissellement pluviales provenant des parcs à charbon et à cendres des centrales thermiques, la réduction de la demande biochimique en oxygène (DBO) des eaux usées de l'industrie laitière, l'élimination de l'ammoniac et de la DBO des eaux usées des usines de transformation de la viande et des ateliers d'équarrissage, l'épuration des eaux usées des raffineries et la décontamination des eaux souterraines. Si les eaux sont

fortement contaminées, il faudra peut-être les prétraiter et mettre au point des méthodes novatrices de rejet en terre humide.

Les eaux de ruissellement des parcs d'engraissement

En Ontario, plusieurs projets portent sur l'utilisation des terres humides construites pour empêcher les eaux de ruissellement des parcs d'engraissement et les eaux de lavage des laiteries de pénétrer dans les collecteurs-fossés, puis d'aboutir dans les cours d'eau voisins ou de s'infiltrer dans le sol, polluant aussi bien les eaux de surface que les eaux souterraines.

Selon les estimations, les coûts de construction d'une terre humide ne représentent que 10 % de ceux d'un réservoir à lisier liquide. Une telle terre humide peut être conçue de manière à pouvoir éliminer ses eaux par évaporation et par drainage, si l'on veut éviter tout rejet.

Utilisation des terres humides à des fins de traitement des eaux usées et des eaux pluviales



Une terre humide artificielle pour le traitement des eaux d'un hôtel au lac Simon (Québec).

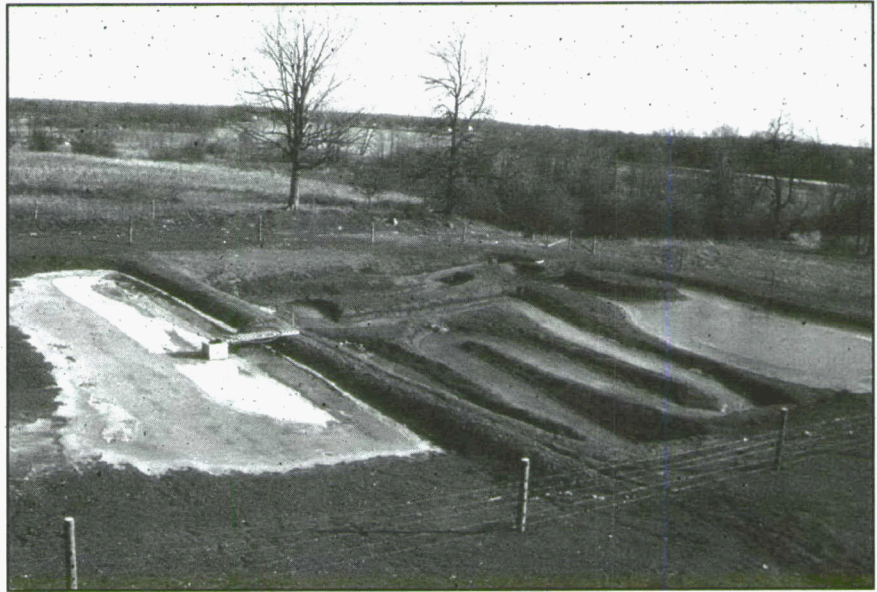
Les eaux de ruissellement pluviales des fermes

Les eaux de ruissellement pluviales provenant des terres agricoles, particulièrement après un épandage d'engrais, introduisent de fortes charges en éléments nutritifs dans les cours d'eau et les lacs où elles se déversent. L'aménagement d'une zone tampon permet à la végétation de s'implanter sur les rives des étangs et des cours d'eau et de décontaminer les eaux de ruissellement agricoles. En empêchant le bétail d'aller brouter sur les rives ou à proximité, on évite toute destruction de la végétation. L'acheminement des eaux pluviales et leur drainage au moyen de tuyaux vers une terre humide d'épuration peuvent permettre de prétraiter les eaux avant leur rejet dans l'environnement; en outre, leur épandage par aspersion dans les champs favorise le recyclage des éléments nutritifs.

Glycol des aéroports et eaux pluviales des exercices d'incendie

Le dégivrage des avions, en particulier dans les grands aéroports du Canada, peut produire d'importantes quantités de glycol qui aboutissent dans les égouts pluviaux et dans le cours d'eau le plus proche s'il n'existe aucun ouvrage d'épuration ou de collecte sur place. S'il est bien conçu et dimensionné, une terre humide peut traiter les eaux de ruissellement pluviales ainsi contaminées.

Les eaux pluviales contaminées par le carburant et la mousse ignifuge se prêtent également à un traitement en terre humide, surtout dans les endroits où ces substances ne font l'objet d'aucun programme de récupération. Les composés à base d'hydrocarbures semblables à ceux que l'on trouve dans le carburant aviation ont été soumis à des essais préliminaires; d'après les résultats obtenus, ces composés peuvent être traités dans les terres humides.



Terre humide d'eaux usées de pâturage, ferme Rideau Angus près de Burritt's Rapids (Ontario).

Photo: T. Davidson, Rideau Valley Conservation Authority

Les parcs nationaux et provinciaux

L'aménagement de terres humides d'épuration dans les campings des parcs nationaux et provinciaux pourrait s'avérer intéressant pour diverses raisons. Comme la plupart des parcs sont ouverts sur une base saisonnière seulement, ces terres humides ne seraient pas assujetties aux critères d'exploitation en hiver; au besoin, des modifications pourraient être apportées si l'on décidait de les exploiter pendant toute l'année. Les terres humides pourraient être intégrées dans le programme d'éducation mésologique; il faudrait alors veiller à réduire les risques de contact entre les campeurs et les agents pathogènes présents dans les eaux usées. Les terres humides d'épuration pourraient s'avérer particulièrement intéressantes dans le cas des terrains de camping situés dans les parties nordiques du Canada. Au Québec, une terre humide a été aménagée près d'une plage publique pour épurer les eaux de baignade et améliorer ainsi leur qualité.

Les terres des Autochtones et des Premières nations

Les collectivités autochtones sont souvent situées dans des endroits reculés; plusieurs d'entre elles sont dotées d'installations de traitement des eaux qui fonctionnent mal.

Les terres humides constituent une solution de rechange intéressante pour traiter les eaux usées et les eaux pluviales, tout en s'intégrant à l'environnement naturel. Leur aménagement et leur exploitation fourniraient des emplois à la population locale qui pourrait surveiller tous les aspects du projet d'épuration. En outre, le fait de procurer du même coup un habitat à la faune constituerait vraisemblablement un avantage supplémentaire. En Colombie-Britannique, plusieurs terres humides sont utilisées pour traiter les eaux usées des collectivités autochtones.

Les collectivités du Nord

Maintes agglomérations nordiques utilisent actuellement des étangs de stabilisation facultatifs pour combler leurs besoins en matière de traitement des eaux usées. La plupart d'entre elles détiennent des permis qui les autorisent à vidanger les étangs pendant l'été. Au Yukon, dans les Territoires du Nord-Ouest, dans le nord de la Colombie-Britannique et dans le nord de l'Alberta, de plus en plus de collectivités ont entrepris d'intégrer des terres humides à leurs installations de traitement des eaux afin d'améliorer la qualité des effluents et, dans certains cas, de prolonger la période de rejet.

Les eaux pluviales

Les terres humides utilisées pour traiter les eaux pluviales sont des terres humides construites qui permettent d'améliorer la qualité des eaux, de modifier le débit (en stockant temporairement les eaux dans des mouilles peu profondes où les conditions sont propices à la croissance des plantes émergentes et des plantes ripicoles caractéristiques des terres humides), de limiter l'écoulement et de réduire l'affouillement et l'érosion en aval (Ministère de l'Environnement de l'Ontario et le Metropolitan Toronto and Region Conservation Authority 1992; Shueler

1992). Shueler (1992) a décrit cinq grands types de terres humides utilisées pour le traitement des eaux pluviales, soit le marais peu profond, l'étang/terre humide, la terre humide de rétention prolongée, la terre humide-dépression et la terre humide de lisière. Essentiellement, tous ces milieux sont caractérisés par un écoulement de surface et présentent des conditions variables en ce qui a trait à la présence de marais à végétation émergente et de mares profondes, à la capacité hydraulique, au temps de rétention et aux voies d'écoulement.

Ces dernières années, au lieu de s'intéresser seulement au stockage des eaux pluviales dans des bassins de retenue, on a entrepris d'intégrer des parcelles humides à couvert végétal afin d'améliorer la décontamination des eaux et d'embellir le paysage urbain. Partout au Canada, de nombreuses collectivités ont aménagé des terres humides et les ont intégrés à leurs réseaux de traitement des eaux pluviales. Plusieurs autres installations semblables sont sur le point d'être aménagées, sous réserve de l'approbation des organismes de réglementation, et d'autres en sont au stade de l'avant-projet ou de la conception.



Lagune d'eaux usées municipales et terre humide de déversement saisonnier. Old Crow (Yukon).

Photo : J. Granger

Pâtes et papiers

Le recours aux terres humides pour traiter les effluents des usines de pâtes et papiers a été étudié par les spécialistes des terres humides aux États-Unis. Ces études ont suscité l'intérêt de l'industrie de pâtes et papiers canadienne. En Colombie-Britannique, une terre humide construite sert actuellement au traitement des lixiviats des résidus de bois.

Séchage des boues et réduction de la matière organique sous forme solide

Le séchage et le traitement biologique des boues sur lit de roseaux (*Phragmites* spp.) ont été réalisés aux États-Unis et en Europe. Ils visent à remplacer ou à améliorer le procédé de séchage sur lit de sable. On a constaté que les lits de roseaux permettent de réduire le temps de séchage de même que la production de boues et de matière organique (Cooper et Findlater 1990). Le Canada se prête bien à des applications de cette nature.

Eaux d'exhaure acides

On a aménagé des systèmes des terres humides pour le traitement passif des eaux d'exhaure des mines de charbon; ces systèmes comprennent un ou plusieurs bassins aérobies, une terre humide à compost et un canal de drainage anoxique en calcaire (Hedin et Nairn 1992). Les terres humides aérobies sont essentiellement des terres humides à écoulement en surface comme elle est décrit plus haute, mais elles peuvent aussi être dépourvues de végétation. Elles permettent d'aérer l'eau et de la retenir assez longtemps pour favoriser les processus d'oxydation et de précipitation (Hedin et Nairn 1992).

«De plus en plus de collectivités au Canada ont entrepris d'intégrer des terres humides à leurs installations de traitement des eaux usées.»

Les terres humides à compost sont semblables aux terres humides aérobies. Toutefois, contrairement à ces derniers, elles possèdent un substrat organique qui favorise les processus chimiques et l'action des micro-organismes, lesquelles entraînent l'alcalinisation de l'eau et la neutralisation des constituants acides de l'exhaure. Le canal de drainage anoxique en calcaire achemine l'eau à travers un lit de calcaire enfoui, qui alcalinise l'eau dans un milieu dépourvu d'oxygène où le calcaire n'est pas protégé (Hedin et Nairn 1992).

Le traitement des eaux d'exhaure par les terres humides n'est pas examiné en détail dans le présent rapport. Toutefois, les ouvrages décrivant les expériences menées au Canada, en Europe et aux États-Unis fournissent beaucoup de renseignements à ce sujet (voir pages 38 à 48).



Photo : L. Leavens

Pour les terres humides d'épuration, la conception, le choix des espèces et la construction doivent être bien planifiés.

Rendement général des terres humides dans le traitement des eaux usées

Le rendement des terres humides construites en ce qui a trait au traitement des eaux usées se mesure en termes de taux d'élimination des matières indésirables et d'efficacité du traitement. Knight *et al.* (1993) ont résumé les résultats obtenus à 97 endroits situés surtout aux États-Unis et portant sur 127 milieux différents, caractérisés par des débits différents et des eaux de composition variable. On trouvera les chiffres relatifs au rendement moyen d'élimination au tableau 1 pour les paramètres suivants : demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO_5), matières solides totales en suspension (MSTS), azote ammoniacal (NH_3-N), azote total (NT), phosphore total (PT). Les données s'appliquent aux terres humides construites à écoulement en surface (EES) et aux terres humides construites à écoulement souterrain (ES).

Les terres humides assimilent efficacement la charge de demande biochimique en oxygène et les matières solides totales en suspension, en décomposant la matière organique par l'action des micro-organismes. Le taux d'élimination de la DBO_5 est faible

lorsque la quantité de DBO introduite est faible (de 5 à 10 mg/L), mais il atteint de 70 % à 90 % lorsque la DBO introduite est plus élevée (Water Pollution Control Federation 1990). Lorsqu'ils sont bien conçus et entretenus, les systèmes à écoulement souterrain peuvent éliminer entre 85 % et 90 % de la DBO_5 . Le taux d'élimination des matières solides totales en suspension est semblable à celui de la DBO_5 (Water Pollution Control Federation 1990).

Les terres humides transforment l'azote grâce à l'action des micro-organismes et à l'assimilation par les végétaux (Water Pollution Control Federation 1990). L'ammoniac est transformé en nitrates (nitrification) et les nitrates sont transformés en azote gazeux (dénitrification). La vitesse à laquelle ces processus se déroulent dépend de la température, de la teneur en azote, en oxygène et en substances toxiques, et d'autres facteurs. Le taux d'assimilation de l'azote ammoniacal total (NH_3-N) est généralement élevé, mais il peut être réduit par un court temps de rétention

Considérations relatives à l'exploitation

Tableau 1

Rendement moyen des terres humides construites

PARAMÈTRE	ENTRÉE (en mg/L)	SORTIE (en mg/L)	TAUX D'ÉLIMINATION (en %)
DBO_5	38,8	10,5	73
MSTS	49,1	15,3	69
NH_3-N	7,5	4,2	44
NT	14	5	64
PT	4,2	1,9	55

Source : Knight *et al.* (1993)

Remarques : DBO_5 = demande biochimique en oxygène sur cinq jours
MSTS = matières solides totales en suspension
 NH_3-N = azote ammoniacal
NT = azote total
PT = phosphore total

hydraulique (TRH), des charges élevées et de basses températures. L'assimilation de l'azote total est fortement corrélée avec la charge jusqu'à concurrence de 10 kg/ha/jour et dépend beaucoup du temps de rétention hydraulique; elle diminue considérablement lorsque ce dernier est inférieur à cinq jours environ (Water Pollution Control Federation 1990).

Le phosphore total (PT) présent dans la colonne d'eau est éliminé par sédimentation et assimilation par les plantes. Le taux d'élimination dépend de la capacité d'adsorption du sol et est proportionnel à la teneur en phosphore des eaux devant être traitées et au temps de rétention (Water Pollution Control Federation 1990).

Les terres humides ont un fort potentiel d'élimination des métaux et des produits chimiques toxiques (Water Pollution Control Federation 1990). L'élimination se fait généralement par oxydation et par précipitation. Les agents pathogènes tels que les bactéries coliformes peuvent être considérablement réduits par la terre humide, mais ils peuvent aussi y être introduits par les oiseaux et d'autres espèces animales, de sorte que leurs concentrations varient beau-

coup (Water Pollution Control Federation 1990). Les taux d'élimination à long terme prévus dans des terres humides utilisées pour le traitement des eaux de ruissellement pluviales sur la côte atlantique moyenne des États-Unis sont résumés dans le tableau 2.

Au Canada, lorsqu'il est question de recourir aux terres humides, on pense tout de suite aux difficultés d'exploitation par temps froid. Selon toute logique, les processus d'épuration devraient être ralentis ou interrompus par temps froid, comme c'est le cas dans les usines classiques de traitement des eaux usées. Or, les terres humides sont beaucoup plus complexes et continuent de remplir très efficacement plusieurs fonctions d'épuration en hiver.

Les données recueillies à ce jour sur l'exploitation des terres humides en hiver sont nombreuses et nos connaissances s'enrichissent rapidement. Les chercheurs canadiens ont contribué de façon importante à l'acquisition de ces connaissances. De 1980 à 1984, des recherches ont été faites pour la première fois sur les terres humides à écoulement en surface à Listowel, en Ontario. Le rapport rédigé

Tableau 2

Taux d'élimination à long terme prévus dans des terres humides utilisées pour le traitement des eaux pluviales sur la côte atlantique moyenne des États-Unis

POLLUANT	TAUX D'ÉLIMINATION (EN %)
MSTS	75
PT	45
NT	25
Carbone organique	15
Plomb	75
Zinc	50
Bactéries	Réduction de 2 dans l'échelle logarithmique

Source : Schueler (1992)

à cette occasion (Herskowitz *et al.* 1986) contient une mine de renseignements. Cinq terres humides ont été exploitées tout l'hiver, grâce à une forme d'isolation unique. On a en effet haussé le niveau des eaux au moment de l'engél, puis on a laissé se former une couche de glace. Ensuite, on a abaissé le niveau des eaux, ce qui a favorisé la formation d'une couche d'air isolante entre la surface de l'eau et la glace. Les tiges d'une dense colonie de quenouilles émergentes ont maintenu la glace en place. Les quenouilles mortes mais toujours dressées ont ensuite retenu la neige qui a formé une autre couche isolante. Il en est ainsi dans beaucoup de terres humides nordiques; une couche de neige maintenue en place par le couvert végétal recouvre une nappé d'eau non gelée. La température a influé de façon importante sur l'enlèvement de l'azote, mais elle a eu peu d'effet sur l'élimination du phosphore et n'a eu aucun effet sur la réduction de la demande biochimique en oxygène et des matières solides totales en suspension.

Des travaux ultérieurs menés à Cobalt, en Ontario, ont étayé la plus grande partie des résultats obtenus à Listowel (Miller 1989). Des recherches portant sur les terres humides à écoulement souterrain sont actuellement en cours à Niagara-on-the-Lake en Ontario.

Dans les pays scandinaves, on a utilisé les terres humides à des fins multiples; on a ainsi rassemblé des données très utiles sur leur conception et leur exploitation. Des chercheurs ont exploité de tels systèmes pendant toute l'année, près du cercle polaire, en Norvège (Jenssen *et al.* 1992; Jenssen *et al.* 1994). Leurs conclusions remettent en question les idées habituellement véhiculées, comme l'indique l'extrait suivant :

«Au cours des deux premières années d'exploitation, des réductions moyennes de 86 %, de 55 % et de 98 % ont été obtenues respectivement pour la DBO, l'azote total et le phosphore total. À ce jour, les résultats indiquent que le rendement hivernal est à peu près comparable au rendement estival.»

En Norvège, une dizaine de systèmes sont construits chaque année en terre humide dans la région de Jaeren à des fins

«Selon toute logique, les terres humides continuent de remplir très efficacement plusieurs fonctions d'épuration en hiver.»

de traitement des eaux (Bakke 1994). Ces systèmes sont des «parcs» à usage multiple qui permettent d'éliminer 90 % du phosphore total et de l'azote ammoniacal.

En Suède, des terres humides à écoulement souterrain et à lit de plantes aquatiques submergées ont été exploités à longueur d'année (Gumbrecht 1992a; 1992b). Dans les terres humides à écoulement souterrain (de 2 °C à 21 °C), l'effet de la température sur le taux d'élimination a été important dans le cas de l'azote (baisse de rendement de 50 %), faible dans le cas du phosphore (baisse de rendement de 15 %) et nul dans le cas de la DBO. Les mêmes tendances ont été observées dans les systèmes à macrophytes submergés (de -1 °C à 17 °C). Le Dr Hans Wittgren, de l'Institut météorologique et hydrologique de la Suède à Norrköping, examine actuellement les données recueillies sur l'utilisation des terres humides pour le traitement des eaux usées dans les régions froides.

Les mécanismes physiques à l'origine de l'élimination des MSTs sont pratiquement indépendants de la température. C'est le cas de la sédimentation et de la filtration. À la connaissance de l'auteur, aucune étude n'a été faite pour tenter d'expliquer pourquoi la température n'influe pas sur l'élimination de la charge en DBO, mais de nombreux travaux font état de l'inexistence d'un coefficient de température. La charge en DBO correspond à un ensemble disparate de composés organiques. Dans une terre humide, les nombreux processus chimiques et biochimiques qui digèrent la charge en DBO s'exercent sur plusieurs strates verticales. Dans chacune d'entre elles, cette activité prend de très

nombreuses formes. Certains de ces processus produisent une charge en DBO qui est attribuable à la décomposition; d'autres oxydent une partie de la charge en DBO. Les terres humides ont souvent la superficie qu'il faut pour que soit atteint un équilibre naturel entre la production et l'oxydation de la charge en DBO. L'élimination nette correspond donc à la différence entre deux types de processus opposés. On sait que le froid ralentit considérablement la décomposition. Par ailleurs, il est vraisemblable que le processus d'élimination de la charge en DBO soit également ralenti puisqu'il résulte d'un ensemble de réactions aérobies et de réactions anaérobies qui ont leur siège dans les micro-organismes. L'écart entre la lente élimination et la production ralentie de la charge en DBO, mesuré par l'élimination nette, ne diffère pas forcément beaucoup de celui observé par temps plus chaud.

Ce ne sont pas tous les mécanismes à l'origine de l'élimination de la charge en DBO qui sont ralentis sous l'action du froid. Une proportion importante de la charge en DBO des terres humides se compose de particules, qui sont susceptibles d'être éliminés par sédimentation; il existe une mince corrélation entre ce mécanisme physique et la température. L'élimination aérobie des composés organiques, qui dépend de la quantité d'oxygène disponible pour les réactions d'oxydation, constitue un autre facteur important. La plus grande partie de l'oxygène nécessaire provient de la dissolution de l'oxygène (O_2) atmosphérique. La solubilité de l' O_2 gazeux dans l'eau est plus grande à basse température; elle double lorsque la température passe de $30^\circ C$ à $0^\circ C$.

On ne saurait extrapoler ces données à tous les composés organiques, surtout ceux qui ne sont pas présents normalement dans les terres humides. Un composé qui n'est pas produit dans la terre humide sera sujet seulement à épuisement et pourra nécessiter l'intervention d'un micro-organisme particulier. Dans ces conditions, on peut nettement envisager une dépendance vis-à-vis de la température.

Les formes d'azote qui composent la charge d'azote total sont soumises à un ensemble bien connu de processus d'inter-

«L'effet de la température a joué beaucoup dans le cas de l'azote, peu dans le cas du phosphore et pas du tout dans le cas de la DBO et des MSTs.»

conversion dans les terres humides et les étangs. Ces processus sont tous sensibles à la température, mais à des degrés divers. Les recherches portant sur les terres humides ont confirmé que la température a des effets variables; tout comme dans les milieux d'épuration classiques, et ce, pour une raison fort simple: les mêmes micro-organismes entrent en jeu.

Le cycle de vie des plantes pourrait expliquer la non-variabilité de l'assimilation du phosphore selon les saisons. À Listowel, la végétation des terres humides était limitée à une seule espèce, la quenouille (*Typha latifolia*). Dans un environnement nordique, *Typha* croît surtout au printemps. À l'automne, cette plante connaît une période pendant laquelle elle transfère de grandes quantités d'éléments nutritifs et de biomasse dans ses rhizomes. Les fortes teneurs en phosphore observées au printemps et à l'automne sont donc vraisemblables. L'été est une saison d'activité biologique intense dans les terres humides. Cependant, la constante de vitesse constitue un paramètre dans un modèle localisé, qui exprime un transfert net, soit la différence entre les processus d'absorption et de libération qui s'effectuent depuis ou vers les secteurs actifs de l'écosystème. La croissance des plantes et l'assimilation par les micro-organismes peuvent être très rapides, mais c'est aussi le cas des processus de lessivage et de décomposition. Le taux élevé de restitution du phosphore par les secteurs statiques compense pour les taux élevés d'absorption. Les températures hivernales ralentissent à la fois le taux d'absorption et le taux de libération, mais le transfert net demeure élevé.

Coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien

Les coûts de construction d'une terre humide comprennent les coûts du terrain, du terrassement, de la plantation, de la conception, de la surveillance et de l'entretien. En général, aux États-Unis, les terres humides construites à écoulement en surface coûtent entre 10 000 \$ US et 50 000 \$ US l'hectare, selon leur superficie (Kadlec et Knight, en préparation). Au Canada, il en coûte à peu près la même chose. Le coût a été plus élevé dans les terres humides où, en raison de la grande perméabilité du sol, il a fallu recouvrir le sol d'une membrane étanche. Une attention spéciale a été apportée à l'enlèvement et à la remise en place de la couche superficielle du sol; il n'y a pas eu d'économies d'échelle en raison de la taille réduite de l'installation, et des éléments architecturaux spéciaux ont été incorporés à la terre humide afin de la rendre plus attrayant pour la collectivité voisine.

À cause du remblai de gravier, le coût d'une terre humide construite à écoulement souterrain peut être quatre fois plus élevé à l'hectare que celui d'une terre humide construite à écoulement en surface. En revanche, une terre humide construite à écoulement souterrain peut recevoir de plus fortes charges polluantes; la superficie requise est donc moindre.

Les coûts d'exploitation et d'entretien varient en fonction du type de données requises, de la lutte contre les plantes

exotiques, de l'activité des animaux fouisseurs dans les bermes et du mode de gestion des eaux. On trouvera un résumé des lignes directrices relatives à la conception des terres humides à l'annexe A.

Dimensionnement

La superficie requise d'une terre humide varie en fonction de l'objectif visé; les besoins à cet égard sont décrits en détail à l'annexe A. On trouvera à l'annexe B une fiche de calcul de la superficie requise d'une terre humide.

Permis nécessaires

Le traitement et l'élimination des eaux usées sont assujettis à des règlements provinciaux et locaux. Au Canada, les ministères provinciaux de l'environnement définissent les règles à suivre en matière de traitement et de rejet et jouent un rôle déterminant dans la délivrance des permis et l'exploitation des terres humides à des fins de traitement des eaux usées. La plupart du temps, il faut obtenir une autorisation provinciale avant de déverser des eaux usées ou non, dans des plans d'eau au Canada. D'autres règlements qui pourraient être importants sont définis dans la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, dans la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* et dans la *Loi sur les pêches*.

Problèmes

Les terres humides construites en vue du traitement des eaux usées et des eaux pluviales remplissent également des fonctions auxiliaires utiles : elles fournissent un habitat à la faune, contribuent aux chaînes alimentaires, accroissent la productivité écologique et atténuent les crues (Kadlec et Knight, en préparation). Les eaux usées traitées peuvent servir à alimenter et à restaurer les terres humides dont les conditions hydrologiques se sont détériorées. Les terres humides construites créent une chaîne alimentaire productive au fil des ans. Lorsque cela est possible, on peut également inclure des éléments qui seront

utilisés à des fins de sensibilisation du public et d'éducation environnementale.

À ce jour, les conditions qui règnent dans les terres humides utilisées pour le traitement des eaux usées urbaines et des eaux pluviales n'ont eu aucun effet létal sur les poissons et les autres formes de vie animale aux États-Unis (Kadlec et Knight, en préparation). Les seuls cas reconnus de toxicité chez la faune des terres humides sont associés aux eaux provenant des lieux d'élimination des déchets dangereux ou aux eaux d'irrigation agricoles dans l'ouest des États-Unis

Les effets sur le biote

(Kesterson National Wildlife Refuge). Lorsque la bloaccumulation ou l'exposition des espèces fauniques risquent de poser un problème, des mesures d'atténuation des risques sont incorporées lors de la conception des systèmes en terre humide.

Questions et préoccupations

Au fil des ans, les effets à long terme des terres humides sur la faune et les résidants des collectivités ont suscité de nombreuses questions et préoccupations. Certaines de ces questions ainsi que les réponses fournies par des ingénieurs des terres humides sont présentées dans le tableau 3.



Photo : J. Pries, CH2M HILL

Un grand béron dans une terre humide au sud de l'Ontario.

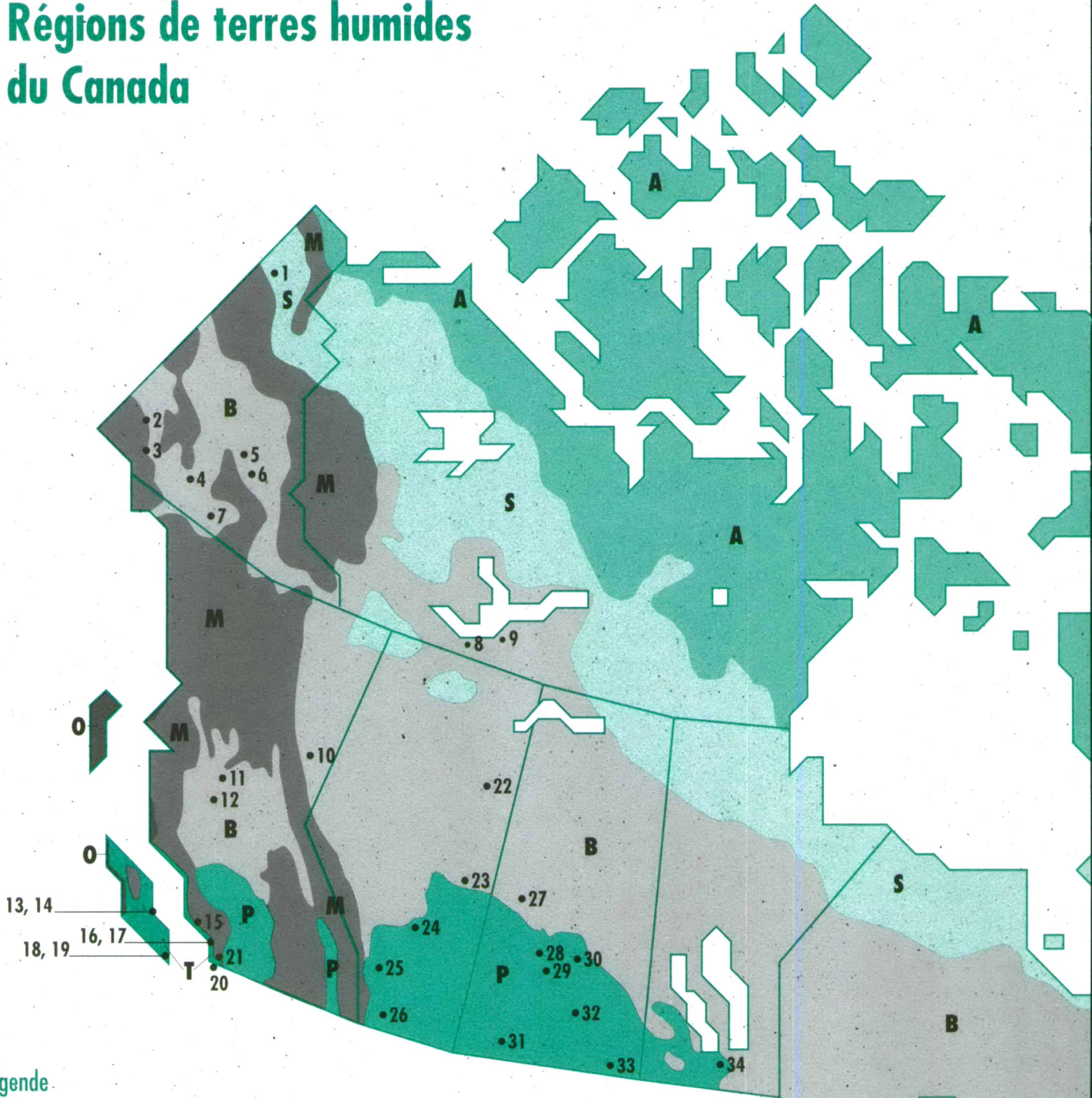
Tableau 3

Questions et préoccupations concernant les terres humides utilisées pour le traitement des eaux usées et des eaux pluviales

Questions/préoccupations des organismes de réglementation et du grand public	Réponses des ingénieurs des terres humides
<i>Est-ce qu'il y aura des odeurs?</i>	Il ne devrait pas y avoir de problème d'odeurs si la terre humide a été bien conçue. Selon les spécialistes qui ont visité des terres humides en divers endroits du monde, ces terres humides, qu'elles soient naturelles ou construites, ne dégagent pas d'odeurs.
<i>Est-ce qu'il y aura des moustiques?</i>	Même si les terres humides ont pour effet d'accroître la surface utilisée par les moustiques au moment de la reproduction, le problème a été réglé de diverses manières. La solution la plus efficace consiste à utiliser des poissons qui se nourrissent des larves de moustiques, empêchant celles-ci de passer au stade adulte. On peut également construire des nichoirs pour les hirondelles qui consomment les moustiques au moment où ces derniers émergent de la terre humide. Enfin, en maintenant les eaux à leur niveau nominal, on contribue à réduire la formation d'eaux stagnantes favorables à l'éclosion des moustiques.
<i>En savons-nous suffisamment sur cette technique?</i>	Les terres humides sont utilisées dans le traitement des eaux depuis plus de 25 ans. Elles ont fait l'objet de très nombreux rapports, fondés sur l'expérience acquise aux quatre coins du monde. Bien que nos connaissances s'améliorent sans cesse et que d'autres données doivent être recueillies et analysées, les critères de conception existants permettent aux ingénieurs de concevoir de bons systèmes de traitement en terre humide.

<p><i>Est-ce que cette technique peut être utilisée en hiver?</i></p>	<p>Les terres humides continuent de remplir efficacement plusieurs de leurs fonctions épuratrices en hiver. En Norvège, où une terre humide est exploitée depuis deux ans, le rendement hivernal est presque identique au rendement estival.</p>
<p><i>Est-ce que cette technique sera applicable dans le Grand Nord?</i></p>	<p>Les terres humides d'épuration satisfont aux critères de qualité des effluents un peu partout au Canada, et même au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest.</p>
<p><i>Est-ce que cette technique sera efficace pour toutes les catégories d'éléments nutritifs et de substances chimiques?</i></p>	<p>Les terres humides ont permis de traiter efficacement des effluents municipaux et industriels très variés. Chaque type d'effluent requiert une attention particulière. Les concentrations et les types de substances chimiques qui n'ont pas été testés dans une installation de traitement biologique des eaux usées doivent être considérées avec autant de prudence que dans une installation classique d'épuration des eaux usées.</p>
<p><i>Est-ce que cette technique peut s'appliquer dans tous les cas?</i></p>	<p>Les terres humides se prêtent à de multiples applications. Cependant, l'expérience a montré que seulement 50 % des sites potentiels peuvent être utilisés pour le traitement des eaux.</p>
<p><i>Cette technique a-t-elle été appliquée sur une grande échelle?</i></p>	<p>Au Canada, plus précisément à Frank Lake, en Alberta, on a aménagé une terre humide de 1 246 ha en vue de l'épuration d'effluents urbains et industriels de traitement tertiaire.</p>
<p><i>Pendant combien de temps la terre humide pourra-t-elle éliminer les contaminants?</i></p>	<p>Même si les plus anciennes terres humides d'épuration ne sont surveillées que depuis quelques dizaines d'années, l'expérience montre que la durée de vie utile de ces terres humides dépend du type et du degré de pollution des effluents. On estime que les terres humides destinées au traitement des eaux usées urbaines peu polluées devraient pouvoir être utilisées pendant des siècles si elles sont bien entretenues. Cependant, le pouvoir filtrant d'une terre humide utilisée pour le traitement d'effluents industriels très pollués peut être de dix ans seulement.</p>
<p><i>Les fortes pluies entraîneront-elles le lessivage des contaminants accumulés dans une terre humide d'épuration des eaux pluviales?</i></p>	<p>Si la terre humide est bien conçue, elle devrait retenir tous les sédiments. Une terre bien aménagée peut emprisonner et retenir les sédiments.</p>
<p><i>Qu'en est-il de l'accumulation des métaux dans le sol et dans les plantes?</i></p>	<p>Des études ont montré que le taux d'accumulation des métaux dans le sol et dans les plantes peut varier considérablement. Dans certains endroits où l'eau contaminée ne s'écoulait pas, les teneurs en métaux des plantes étaient supérieures à celles observées dans les plantes poussant dans un cours d'eau contaminé. On continue d'effectuer des études pour déterminer l'effet de l'accumulation de métaux sur le milieu ambiant.</p>
<p><i>L'accumulation de contaminants aura-t-elle des effets nocifs sur la faune?</i></p>	<p>D'après les données scientifiques recueillies à ce jour, les risques pour la faune sont négligeables. Dans les endroits où la bioaccumulation ou l'exposition des animaux pourraient devenir un problème, des mesures visant à réduire ce risque au minimum pourraient être intégrées à l'étape de la conception du système. Les recherches se poursuivent.</p>

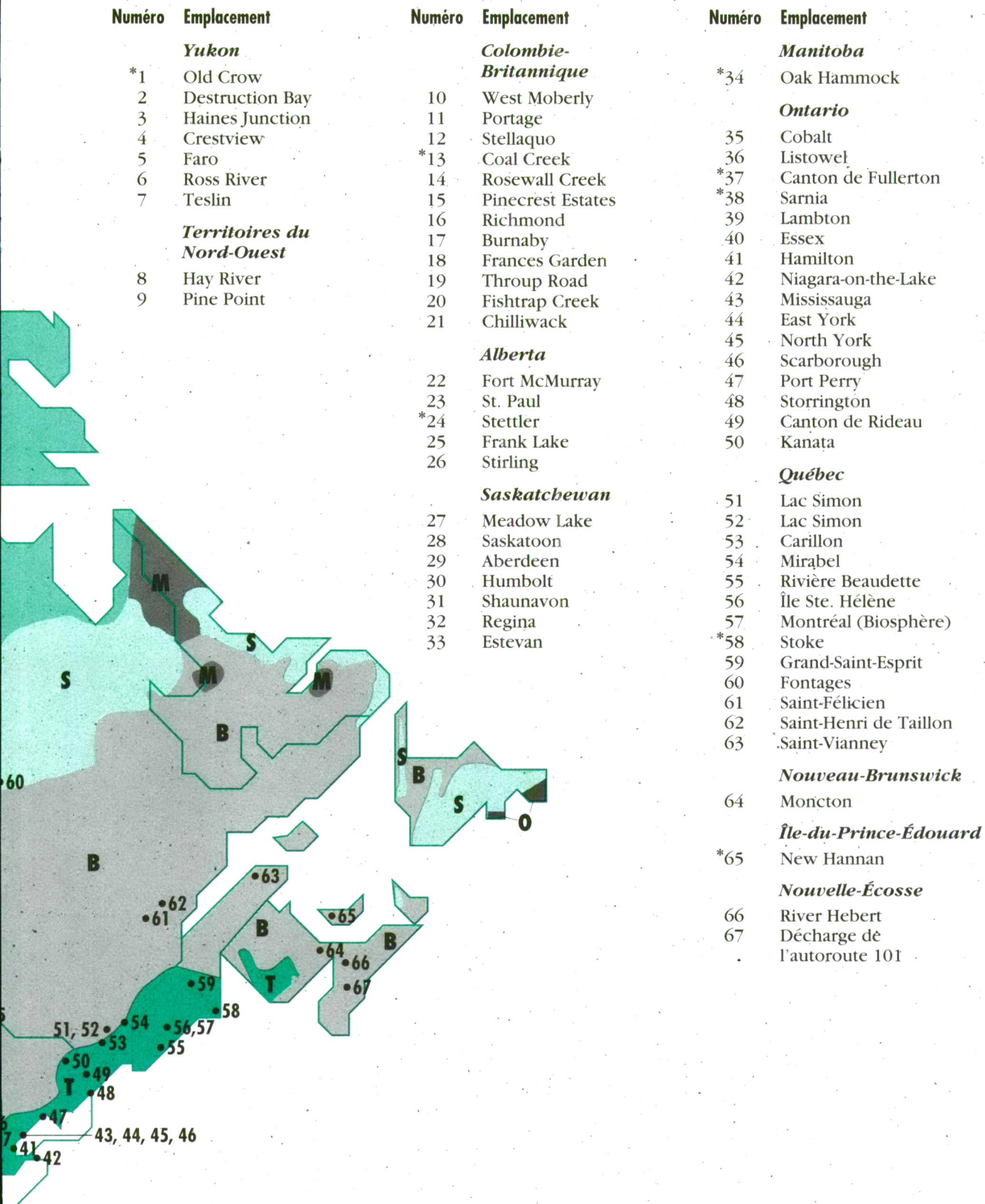
Régions de terres humides du Canada



Légende

- | | | | |
|----------|--|----------|--|
| A | Arctiques (<i>Bas-Arctique, Haut-Arctique, Arctique moyen</i>) | B | Boréales (<i>Boréal atlantique, Bas-Boréal, Haut-Boréal, Boréal moyen</i>) |
| P | Prairies (<i>Prairies continentales, Prairies d'intermontagnes</i>) | O | Océaniques (<i>Océanique atlantique, Océanique pacifique</i>) |
| T | Tempérées (<i>Tempérée de l'Est, Tempérée pacifique</i>) | M | Montagnes (<i>Montagnes côtières, Montagnes de l'Est, Montagnes intérieures, Montagnes Rocheuses</i>) |
| S | Subarctiques (<i>Subarctique atlantique, Bas-Subarctique, Haut-Subarctique</i>) | | |

Figure 1 : Les terres humides utilisées pour le traitement des eaux usées et des eaux pluviales au Canada



*Les descriptions de ces sites sont incluses dans la prochaine section intitulée «Exemples».

Région de terres humides tempérée du Pacifique – Utilisation par l'industrie

Coal Creek (Colombie-Britannique)

Terre humide construite servant au traitement des eaux usées d'une éclosérie, Rosewall United Fish Farms

Dans cette éclosérie de saumons de l'île de Vancouver, les eaux usées sont de deux types. Il y a tout d'abord les eaux d'un bassin d'élevage chauffé provenant de petits viviers utilisés pour la croissance rapide des alevins de moins d'un an. Il y a ensuite les eaux non chauffées provenant des principaux bassins qui servent à la croissance des tacons jusqu'au stade de smolt. Les deux types d'eaux subissent un prétraitement lors de leur passage à travers des filtres TRIANGEL. Les eaux de lavage à contre-courant des filtres TRIANGEL sont acheminées en continu vers un décanteur dont le liquide surnageant est déversé dans un petit marais. Les eaux filtrées traversent ensuite un filtre biologique, puis sont déversées dans un marais plus grand.

Le système a été mis au point pour préserver les eaux douces non polluées du ruisseau Coal et protéger un parc à huîtres situé sur la plage où se déversent les eaux du ruisseau Coal. Le rejet direct des eaux de l'éclosérie n'a pas été autorisé. Le système d'épuration des eaux et d'élimination des polluants vise à réduire le plus possible la charge en matières organiques et en éléments nutritifs ainsi qu'à réduire les risques de transmission de maladies entre l'éclosérie et les stocks sauvages du ruisseau.

Le débit des eaux de lavage à contre-courant a été estimé à 111 m³/jour. La superficie requise de la terre humide pour épurer ce volume d'eau est d'environ 40 m sur 33 m, et les eaux filtrées se déversent en bout de ligne dans un marais plus grand. Les deux terres humides ont été construites en 1991 avec des matériaux pris sur place; la quenouille est l'espèce végétale prédominante. L'effluent terminal circule dans un réseau de drainage dans lequel les coquilles d'huîtres abandonnées servent à réduire l'impact des eaux douces sur la salinité de la plage ostréicole commerciale. On n'a observé aucune différence notable entre la qualité des eaux traitées sortant du marais et celle des eaux du ruisseau Coal.

Région de terres humides des Prairies continentales – Utilisation agricole

Stettler (Alberta)

Regroupement des marécages et stockage des eaux de ruissellement

Un projet de recherche et de démonstration en gestion des eaux (le projet de recherche Massey), près de Stettler, dans le centre de l'Alberta, a été mis sur pied afin d'évaluer la faisabilité, sur les plans technique et économique, du stockage des eaux de ruissellement en excès sur des fermes, pour remplacer l'aménagement de fossés de drainage classiques. Les eaux de ruissellement, qui s'accumulent dans 15 marécages à l'intérieur d'un quart de section type, sont recueillies par un réseau de canalisations enfouies et pompées dans un étang de trois hectares, situé à l'une des extrémités de la propriété. Le réseau de canalisations de collecte et le système de pompage automatique sont conçus pour retirer toute l'eau des marécages à temps pour l'ensemencement printanier, de façon que ces derniers puissent être récoltés au même titre que le champ contigu. Les eaux stockées servent à irriguer les terres agricoles chaque automne.

Exemples de terres humides construites servant au traitement des eaux usées au Canada

Il est important de définir clairement le sens et les objectifs du regroupement des marécages et de comprendre les conséquences juridiques et techniques de cette méthode de gestion des eaux. Le regroupement de marécages est une «fusion de plusieurs marécages ou de zones où l'eau s'accumule en un seul marécage ou étang de stockage, afin de réduire les obstacles à l'agriculture». Dans le passé, le regroupement était pratiqué surtout sur les fermes renfermant des marécages profonds et vastes vers lesquels s'écoulaient, sous l'effet de la gravité, les eaux des petits marécages situés à une plus haute altitude. Le recours à un système de pompage, comme dans le présent projet, permet d'étendre ce concept aux fermes où la dénivellation entre les marécages est peu prononcée.

On a modifié l'étang et les hautes terres avoisinantes pour mettre en valeur l'habitat faunique : on a aménagé des îlots de nidification et on a planté des arbres et des graminées. Les travaux de recherche en cours permettront d'évaluer les avantages que représente le regroupement des marécages pour l'agriculture et la faune et d'élaborer des critères de conception pour la gestion des eaux de ruissellement à la ferme dans d'autres régions du centre de l'Alberta caractérisées par des conditions climatiques similaires.

Région de terres humides de la Prairie continentale – Utilisation urbaine

Stonewall (Manitoba)

Centre de conservation Oak Hammock Marsh

Installation d'épuration des eaux usées

Le centre de conservation Oak Hammock Marsh est desservi par une installation d'épuration des eaux usées qui a été conçue de façon à respecter et à dépasser les exigences de la Loi sur l'environnement du Manitoba. Un bassin de lagunage à trois compartiments a été choisi, de préférence à un moyen mécanique d'épuration, parce que ce bassin est plus fiable, coûte moins cher à entretenir et nécessite un investissement moindre. L'installation répond aux besoins en épuration des eaux d'égout du centre de conservation Oak Hammock Marsh, lequel compte 140 employés, possède une cafétéria ouverte au public et devrait accueillir plus de 200 000 visiteurs par année.

Le bassin de lagunage comporte trois compartiments, soit un de plus qu'un bassin conventionnel. Le premier compartiment reçoit des eaux usées non traitées et les épure par décantation des plus grosses particules et par décomposition biologique des eaux restantes. Le deuxième compartiment reçoit le trop-plein et assure une épuration supplémentaire ainsi qu'un stockage pendant les mois d'hiver, alors qu'aucun rejet n'est effectué. À ce point la demande biochimique en oxygène est réduite de même que les teneurs en matières en suspension et en coliformes de l'effluent avant le rejet hors bassin. Le bassin de lagunage du centre de conservation Oak Hammock Marsh comprend un troisième compartiment, qui réduit les risques de dommage à l'environnement. Ce troisième compartiment consiste en un marais artificiel à fond de gravier, planté de quenouilles, qui élimine les phosphates et les nitrates, en plus de réduire davantage la demande biochimique en oxygène des eaux d'égout déjà partiellement épurées. Par ailleurs, ce marais représenté une terre humide supplémentaire pour la faune.

Le centre de conservation Oak Hammock Marsh a choisi un tel bassin pour qu'il serve de prototype de démonstration, en espérant ainsi inciter des municipalités à incorporer un marais construit ou une terre humide artificielle dans leurs futurs bassins de lagunage.

Le système stockera les eaux usées entre le 1^{er} novembre et le 15 juillet de l'année suivante dans les bassins de traitement primaire et secondaire. Les eaux seront acheminées vers le troisième bassin, ou le marais artificiel, où elles séjourneront deux ou trois semaines avant d'être déversées dans le marais Oak Hammock. L'effluent ne sera transféré dans le troisième bassin que lorsque la DBO aura été ramenée à moins de 30 mg/L, les coliformes fécaux à moins de 200/100 mL, les coliformes totaux à 1 500/100 mL et la teneur en sodium à moins de 300 mg/L, conformément au Manitoba Environment Act Licence du 28 janvier 1991.

Région de terres humides du Haut-Subarctique – Utilisation urbaine

Old Crow (Yukon)

Terre humide naturelle servant à l'épuration des eaux d'égout

En 1975, le Gouvernement du Yukon a construit un bassin de lagunage à compartiment unique pour le ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. À l'origine, l'ouvrage devait servir à éliminer les eaux d'égout évacuées des établissements fédéraux situés dans l'agglomération. Peu de temps après l'achèvement des travaux de construction, l'exploitation et l'entretien furent confiées au Gouvernement du Yukon.

Lorsque le bassin était plein, on le vidangeait périodiquement en pompant les eaux épurées vers un marécage voisin qui se déversait lui-même dans la rivière Porcupine. Avec le temps, il devint évident que le bassin était trop petit pour Old Crow; un nombre croissant de maisons avaient été construites, toutes équipées de réservoir de stockage des eaux usées. En 1984, la Division du génie urbain du Gouvernement du Yukon commença à dresser des plans pour le remplacement du bassin existant par une installation d'une plus grande capacité. En 1986, des informations sur un avant-projet de nouvelle installation furent joints à la demande de renouvellement du permis de captage d'eau. Le nouveau bassin à compartiment unique devait être plus grand et situé dans la même zone marécageuse que l'ancien bassin.

La documentation à l'appui de la demande de renouvellement du permis comportait certaines données de rendement relatives à l'ancien bassin, qui examinaient le degré supplémentaire d'épuration de l'effluent accompli dans la terre humide. Sur la foi des documents déposés, un nouveau permis fut délivré, qui, pour la première fois, intégrait formellement le projet d'épuration des eaux d'égout.

La construction du nouveau bassin fut entreprise en 1987, et l'ouvrage fut mis en service à l'automne de 1988. La consommation d'eau étant faible dans l'agglomération (qui est approvisionnée par un camion-citerne), le bassin a mis beaucoup de temps à se remplir complètement, mais il n'a eu aucune difficulté à satisfaire à toutes les conditions du permis (Nairne 1992).

Région de terres humides du Bas-Boréal – Utilisation agricole

Canton de Fullerton (Ontario)

Terre humide construite servant à l'épuration des eaux de ruissellement contaminées d'un enclos de ferme

En Ontario, la première terre humide construite servant à l'épuration des eaux de ruissellement d'un enclos de ferme fut aménagée par un producteur laitier établi dans le canton de Fullerton, près de la ville de Stratford. En 1992, ce producteur communiqua avec l'Office de la protection du cours supérieur de la Thames, au sujet de l'aménagement d'un marais destiné à l'épuration des eaux de ruissellement de l'enclos de sa ferme laitière. Un ingénieur et un biologiste de l'Office conçurent l'ouvrage, et celui-ci fut aménagé en l'espace de quatre jours, en juin 1993.

La terre humide construite occupe 0,32 hectare et assure une épuration en trois étapes. Les eaux de ruissellement provenant de l'enclos en béton et d'une zone de stockage sont temporairement mises en étang dans une zone herbeuse de décantation. L'eau y est lentement drainée vers l'ouverture d'une canalisation verticale débouchant dans le deuxième bassin d'épuration. Celui-ci est conçu de manière à acheminer les eaux de ruissellement dans un chenal en lacet de 20 cm à 30 cm de profondeur. Des quenouilles, des scirpes et d'autres plantes palustres provenant d'un étang voisin furent transplantés dans ce chenal. La plus grande partie du travail de transplantation fut effectuée en novembre, au moment où les plants étaient inactifs. Par ailleurs, 40 plants de quenouilles plantés en juillet survécurent étonnamment bien et produisirent 500 nouveaux coléoptiles en septembre 1993. Les eaux du deuxième bassin s'écoulaient dans un troisième étang où la végétation est typique aux zones superficielles, d'une part, et aux zones profondes, d'autre part.

Avant l'aménagement de l'ouvrage, des sondages hydrogéologiques avaient été exécutés, et des puits d'observation des eaux souterraines avaient été mis en place. La qualité des eaux de surface ainsi que celle des eaux souterraines font l'objet d'une surveillance axée sur la mesure des teneurs en substances chimiques et en micro-organismes. De même, des postes d'observation équipés d'appareils de mesure permettent de surveiller avec précision l'écoulement des eaux de surface, la température des eaux et les précipitations.

Les échantillons prélevés au cours des six premiers mois d'exploitation ont révélé que la terre humide construite avait réduit efficacement les teneurs en contaminants des eaux de ruissellement. On estime qu'une grande partie de la réduction initiale des teneurs en contaminants résulte de la sédimentation des particules solides, de l'adsorption sur les sédiments du fond et de l'exposition au rayonnement solaire. Bien que les résultats initiaux dénotent un bon rendement d'élimination, il est trop tôt pour prévoir la capacité future de l'ouvrage d'épurer des eaux contaminées. La surveillance se poursuivra pendant plusieurs années.

Si le succès de l'épuration en terre humide se poursuit, les agriculteurs pourront traiter les eaux de ruissellement des enclos de ferme en faisant appel à une solution de rechange économique, qui fait intervenir un système naturel passif pour épurer les eaux contaminées.

Région tempérée de terres humides de l'Est – Utilisation urbaine

Sarnia (Ontario)

Remblai

Le site remblayé de Sarnia est un remblai approuvé de 21 ha auquel s'ajoute 40 ha au sud de la zone remblayée. De façon à prévenir le déversement hors-site du lixiviat produit dans le remblai, le site comporte un système périmétrique de rétention du lixiviat.

Le système de rétention du lixiviat est constitué d'une barrière peu perméable et d'un système collecteur en tuiles perforées. Le lixiviat est traité à un rythme moyen de 13,6 m³/jour (3 000 gal. imp./jour). Les effluents de l'installation de traitement sont dirigés à travers deux bassins de réserve et un bassin de décantation vers les terres humides situées à l'est du site.

La terre humide est située immédiatement à l'est du remblai, sur 60 ha de terrain loués par le comté de Lambton. Elle couvre une surface d'environ 6,5 ha dans un bassin qui se trouve à quelque trois mètres plus bas que le paysage environnant. La terre humide est généralement boisée; elle est inondée de tard en hiver jusqu'au début de l'été, soit de 12 à 25 % de la saison de croissance. Ordinairement, vers la fin de l'été, la terre humide est desséchée. La terre humide constitue le dernier traitement biologique avant d'entrer dans le ruisseau de Perch et, ensuite, dans le lac Huron. Du mois de mars au mois de novembre, tel que stipulé dans le certificat d'approbation, le lixiviat traité dans un bassin de réserve et une lagune d'aération peut être déversé, à travers un bassin de décantation, dans la terre humide.

La profondeur maximale du bassin de la terre humide se situe entre 0,5 et 1,0 m. Quand le bassin est rempli, les effluents sont déversés en direction de l'est vers le ruisseau Perch. On évalue à quelque 800 m. la distance que les effluents doivent parcourir du bassin de décantation au ruisseau Perch. Le débit des effluents qui sortent de la lagune est contrôlé de façon à obtenir un temps de rétention minimal de deux à quatre semaines dans la terre humide.

Région de terres humides tempérée de l'Est – Utilisation urbaine

Stoke (Québec)

Terre humide d'épuration

La municipalité de Stoke a mis en place, à l'automne de 1993, une terre humide construite destinée à traiter les eaux usées d'une installation septique existante, après avoir mené une étude de faisabilité préliminaire sur la technique des terres humides.

La terre humide à écoulement souterrain qui a été construite comprend quatre bassins de 18 m de longueur sur 13,5 m de largeur, plantés de roseaux (*Phragmites*, sp.). Cet ouvrage dessert une population de 130 personnes; il possède un débit nominal de 41 m³/jour et fonctionne à l'année.

Il s'agit du premier système de ce type à être mis en oeuvre au Québec pour le traitement des eaux usées urbaines. La terre humide est actuellement au centre d'un projet de recherche où l'on évaluera la performance du système durant trois ans.

Région de terres humides du Boréal atlantique – Utilisation industrielle

New Hannan (Île-du-Prince-Édouard)

Cavendish Farms, épuration biologique des eaux usées

L'une des plus complexes et des plus modernes installations d'épuration biologique des eaux usées d'Amérique du Nord a été mise en place à l'automne de 1993, à New Hannan, près de Summerside, à l'Île-du-Prince-Édouard. L'ouvrage sert à l'épuration des eaux usées de l'usine de transformation de pommes de terre de Cavendish Farms, qui fonctionne 24 heures par jour, sept jours par semaine, et à longueur d'année. Cette usine produit des frites et des pois surgelés en saison.

La terre humide artificielle, qui jouxte la station d'épuration des eaux usées, assure le traitement tertiaire de l'effluent de cette dernière. Le complexe est exploité par la compagnie et il reçoit toutes les eaux usées de l'usine de transformation. Une fois traité et désinfecté, l'effluent du procédé à boues activées est acheminé vers un bassin de retenue de 1,6 hectare où la durée de séjour est de deux jours. L'effluent peut faire l'objet d'une évaluation au stade du bassin de retenue, et, s'il ne satisfait pas aux normes applicables, il peut être renvoyé au réacteur biologique en vue d'une épuration plus poussée. Si l'effluent est satisfaisant, il est dirigé vers une terre humide artificielle où il transite avant d'aboutir dans la baie Malpeque.

La terre humide a étéensemencée naturellement par des végétaux indigènes émergents tels que les quenouilles et les scirpes. Il s'agit de plantes tantôt submergées, tantôt fixées à la rive. La terre humide couvre 1,6 hectare et comporte trois bassins successifs. Ces bassins ont été construits au moyen de bermes de terre, et leur construction a respecté les formes du relief initiales, grâce à une technique de déblais et remblais équilibrés. Il est prévu que chaque bassin sera asséché une fois par année pour que l'on puisse récupérer les végétaux. En retirant ainsi les végétaux, on éliminera du milieu certains des éléments nutritifs extraits des eaux usées.

L'effluent de la nouvelle station d'épuration des eaux usées qui est rejeté dans la terre humide est d'excellente qualité. Cette station, dès sa mise en marche, a su répondre aux exigences provinciales et fédérales, et même aller au-delà. En effet, l'effluent a toujours affiché des teneurs en ammoniac inférieures à 2 ppm et une demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO₅) inférieure à 10 ppm. L'élimination de la demande chimique en oxygène (DCO) a dépassé les 99%. La teneur moyenne en matières solides en suspension est d'environ 10 mg/L. Cette dépollution est obtenue avant que l'effluent n'atteigne la terre humide chargé d'effectuer une dernière épuration.

Répartition nationale

Au début de 1994, CH2M HILL Engineering de Waterloo (Ontario) a mené une vaste enquête dans le but de localiser les terres humides utilisées pour le traitement des eaux usées et des eaux pluviales au Canada. L'emplacement de chacune des 67 terres répertoriés (d'autres sites ont été découverts depuis) est indiqué à la figure 1. Une copie du questionnaire envoyé aux organismes chargés de la gestion de ces sites se trouve à l'annexe C. Toutes les personnes qui ont des informations sur d'autres endroits sont invitées à remplir le questionnaire et à le retourner en vue des prochaines mises à jour de la base de données créée pour le Secrétariat du Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada), à Ottawa.

Au Canada, les terres humides utilisées pour le traitement des eaux usées et des eaux pluviales sont plus nombreuses dans les régions boréales et tempérées définies par le Groupe de travail national sur les terres humides (1986), comme l'indique le tableau 4. La région de terres humides du haut-boréal, qui couvre la partie centrale du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest (T.N.-O.), compte au moins dix terres humides d'épuration qui sont exploitées sur une base saisonnière ou dont l'exploitation a été approuvée par les organismes de réglementation. Le climat de la région se caractérise par un long hiver, d'importantes accumulations de neige, un été court et une brève saison végétative. L'emplacement des terres humides d'épuration et leurs utilisations sont indiqués au tableau 5.

Les 67 terres humides répertoriées se répartissent comme suit : 67 % d'installations en grandeur réelle, 9 % d'installations pilotes, 18 % d'installations ayant franchi les stades de la conception et de l'approbation, et 6 % d'installations (pilotes ou grandeur réelle) ayant été abandonnées. Un échantillon choisi de ces installations est examiné dans la présente section. Il est important de noter que les installations ayant été abandonnées fournissent des données très utiles aux ingénieurs des terres humides et aux chercheurs qui leur permettraient de mieux concevoir les systèmes dans l'avenir. Cette

observation se vérifie tout particulièrement dans le cas de l'installation de Listowel, en Ontario, qui a fait l'objet d'une surveillance poussée. Depuis l'aménagement des installations «déficiences» à la fin des années 1970 et au début des années 1980, les critères de conception des terres humides d'épuration ont beaucoup évolué, de sorte que ce type de traitement des eaux usées et des eaux pluviales constitue une solution de rechange beaucoup plus fiable.

Résumé de la situation dans les provinces et dans les territoires

On trouvera dans la section qui suit une description sommaire de l'utilisation des terres humides à des fins de traitement des eaux usées et des eaux pluviales dans les différentes provinces du Canada. Il y a eu une centaine de consultations auprès de sources bien informées, très intéressées par les questions relatives à l'épuration des

«Les installations ayant été abandonnées fournissent des données très utiles aux ingénieurs et aux chercheurs.»

eaux dans les terres humides. Cela a permis de décrire 51 terres humides d'épuration en exploitation, quatre terres humides mises à l'essai puis abandonnées et 12 dont l'aménagement a été autorisée en 1994. Les personnes qui connaissent le mieux les terres humides et les ouvrages publiés sur le sujet sont généralement celles qui sont les plus favorables à l'utilisation de ces milieux à des fins de traitement des eaux.

Les terres humides utilisées pour le traitement des eaux usées et des eaux pluviales au Canada

Tableau 4

Répartition des terres humides d'épuration par région de terres humides au Canada*

RÉGION DE TERRES HUMIDES	NOMBRE DE SITES	GRANDEUR RÉELLE	GRANDEUR D'ESSAI	ESSAI ET ABANDON	À L'ÉTAT DE PROJET	RICHESSSE EN TERRES HUMIDES
Arctique						
Haut-Arctique	0					F
Arctique moyen	0					M
Bas-Arctique	0					M
Total partiel	0					
Subarctique						
Haut-Subarctique	1	1				M
Bas-Subarctique	1	1				É
Subarctique atlantique	0					É
Total partiel	2	2				
Tempérée						
Tempérée de l'Est	20	8	2	1	9	É
Tempérée pacifique	8	6	2			É
Total partiel	28	14	4	1	9	
Boréal						
Haut-Boréal	9	8	1			É
Boréal moyen	5	4		2	1	É
Bas-Boréal	7	4			1	É
Boréal atlantique	5	4			1	É
Total partiel	26	20	1	2	3	
Montagnes						
Montagnes côtières	1	1				É
Montagnes intérieures	0					É
Montagnes Rocheuses	0					M
Montagnes de l'Est	0					M
Total partiel	1	1				
Prairies						
Prairies continentales	10	8	1	1		É
Prairies d'intermontagnes	0					É
Total partiel	10	8	1	1		
Océanique						
Océanique atlantique	0					É
Océanique pacifique	0					É
Total partiel	0					
TOTAL POUR LE CANADA	67	45	6	4	12	-

*Régions de terres humides définies par le Groupe de travail national sur les terres humides (1986).

Richesse: F = faible M = moyenne É = élevée

Tableau 5

Emplacement et caractéristiques des terres humides d'épuration

NUMÉRO	EMPLACEMENT	RÉGION DE TERRES HUMIDES	UTILISATION	GRANDEUR RÉELLE	GRANDEUR D'ESSAI	À L'ÉTAT DE PROJET ¹
<i>Yukon</i>						
1	Old Crow	SH	Eaux urbaines, bassin	*		
2	Destruction Bay	BH	Eaux urbaines, bassin	*		
3	Haines Junction	BH	Eaux urbaines, bassin	*		
4	Crestview	BH	Eaux urbaines, bassin	*		
5	Faro	BH	Eaux urbaines, bassin	*		
6	Ross River	BH	Eaux urbaines, bassin	*		
7	Teslin	BH	Eaux urbaines, bassin	*		
<i>Territoires du Nord-Ouest</i>						
8	Hay River	BH	Eaux urbaines, bassin	*		
9	Pine Point	BH	Eaux urbaines, bassin	*		
<i>Colombie-Britannique</i>						
10	West Moberly	BM	Eaux urbaines, bassin			*
11	Portage	BM	Eaux urbaines, bassin	*		
12	Stellaquo	BM	Eaux urbaines, bassin	*		
13	Coal Creek	TP	Industrie, écloserie (2 endroits)	*		
14	Rosewall Creek	TP	Industrie, écloserie	*		
15	Pinecrest Estates	MC	Effluent secondaire d'eaux usées urbaines	*		
16	Richmond	TP	Lixiviat de décharge	*		
17	Burnaby	TP	Eaux pluviales agricoles		*	
18	Frances Garden	TP	Effluent secondaire d'eaux usées urbaines	*		
19	Throup Road	TP	Effluent secondaire d'eaux usées urbaines	*		
20	Fishtrap Creek	TP	Eaux pluviales urbaines	*		
21	Chilliwack	TP	Eaux de l'industrie pétrolière		*	
<i>Alberta</i>						
22	Fort McMurray	BH	Eaux de l'industrie pétrolière		*	
23	St. Paul	BM	Eaux usées d'une école	*		
24	Stettler	PC	Eaux pluviales agricoles		*	
25	Frank Lake	PC	Eaux usées d'abattoir Eaux urbaines, bassin	*		
26	Stirling	PC	Eaux urbaines, bassin	*		

Tableau 5 (suite)

Emplacement et caractéristiques des terres humides d'épuration

NUMÉRO	EMPLACEMENT	RÉGION DE TERRES HUMIDES	UTILISATION	GRANDEUR RÉELLE	GRANDEUR D'ESSAI	À L'ÉTAT DE PROJET ¹
<i>Saskatchewan</i>						
27	Meadow Lake	BM	Eaux urbaines, bassin	*		
28	Saskatoon	PC	Eaux pluviales urbaines	*		
29	Aberdeen	PC	Eaux urbaines, bassin	*		
30	Humbolt	PC	Eaux urbaines, bassin		*	
31	Shaunavon	PC	Eaux urbaines, bassin	*		
32	Regina	PC	Eaux pluviales urbaines	*		
33	Estevan	PC	Eaux urbaines, bassin	*		
<i>Manitoba</i>						
34	Oak Hammock	PC	Eaux urbaines, bassin	*		
<i>Ontario</i>						
35	Cobalt	BB	Eaux urbaines, bassin		*	
36	Listowel	BB	Eaux urbaines, bassin		*	
37	Canton de Fullerton	BB	Eaux de ruissellement de tas de fumier	*		
38	Sarnia	TE	Lixiviat de décharge	*		
39	Lambton	TE	Eaux pluviales d'industrie	*		
40	Essex	TE	Eaux de ruissellement de tas de fumier	*		
41	Hamilton	TE	Eaux de ruissellement de tas de fumier			*
42	Niagara-on-the-Lake	TE	Eaux urbaines, bassin		*	
43	Mississauga	TE	Eaux pluviales urbaines	*		
44	East York	TE	Eaux pluviales urbaines			*
45	North York	TE	Eaux pluviales urbaines			*
46	Scarborough	TE	Eaux pluviales urbaines			*
47	Port Perry	TE	Eaux urbaines, bassin	*		
48	Storrington	TE	Lixiviat de décharge		*	
49	Canton de Rideau	TE	Eaux de ruissellement de tas de fumier	*		
50	Kanata	TE	Eaux pluviales urbaines			*
<i>Québec</i>						
51	Lac Simon	BB	Municipale maison unifamiliale	*		
52	Lac Simon	BB	Eaux urbaines, fosses septiques	*		
53	Carillon	TE	Eaux urbaines, fosses septiques			*
54	Mirabel	TE	Eaux urbaines, fosses septiques	*		
55	Rivière Beaudette	TE	Eaux urbaines, fosses septiques			*
56	Île Ste. Hélène	TE	Loisirs, plage	*		

Tableau 5 (suite)

Emplacement et caractéristiques des terres humides d'épuration

NUMÉRO	EMPLACEMENT	RÉGION DE TERRES HUMIDES	UTILISATION	GRANDEUR RÉELLE	GRANDEUR D'ESSAI	À L'ÉTAT DE PROJET ¹
57	Montréal (Biosphère)	TE	Eaux urbaines, fosses septiques	*		
58	Stoké	TE	Eaux urbaines, fosses septiques	*		
59	Grand-Saint-Esprit	TE	Eaux urbaines, bassin			*
60	Fontages	SB	Eaux urbaines, bassin	*		
61	Saint-Félicien	BB	Eaux urbaines, bassin, zoo	*		
62	Saint-Henri de Taillon	BB	Eaux urbaines, bassin			*
63	Saint-Vianney	BA	Eaux urbaines, bassin	**		
Nouveau-Brunswick						
64	Moncton	BA	Eaux urbaines, bassin	*		
Île-du-Prince-Édouard						
65	New Hannan	BA	Épuration secondaire des eaux usées	*		
Nouvelle-Écosse						
66	River Hebert	BA	Eaux urbaines, bassin			*
67	Décharge de l'autoroute 101	BA	Lixiviat de décharge	*		

¹Les plans sont terminés et ont été approuvés par les organismes de réglementation. La construction commencera dès que les conditions s'y prêteront.

Légende et remarques :

- Régions de terres humides :** BA - Boréal atlantique
 BB - Bas-Boréal
 BH - Haut-Boréal
 BM - Boréal moyen
 MC - Montagnes côtières
 MI - Montagnes intérieures
 OP - Océanique pacifique
 PC - Prairies continentales
 SB - Bas-Subarctique
 SH - Haut-Subarctique
 TE - Tempérée de l'Est
 TP - Tempérée pacifique

Utilisations :

- Municipalité : eaux usées urbaines de traitement primaire ou secondaire.
 Bassin : épuration primaire (épuration secondaire facultative ou bassin aéré).
 Industrie : eaux usées industrielles traitées.
 Hydrocarbures : eaux usées épurées de l'industrie pétrolière.
 Écloserie : eaux usées traitées d'une écloserie.

Yukon

À l'exception de Whitehorse, la capitale, qui compte 21 000 habitants, les agglomérations du Yukon abritent des populations dont la taille varie entre 80 et 1 600 habitants environ. La plupart sont situées soit dans des vallées fluviales ou en bordure de lacs. Au cours de la dernière décennie, le gouvernement fédéral, l'administration territoriale du Yukon, les municipalités et le Conseil des eaux territoriales ont conjugué leurs efforts pour améliorer les installations de traitement des eaux d'égout et pour construire de nouvelles installations plus efficaces dans la majorité des collectivités yukonaises. Les ressources financières étant limitées, on a étudié et utilisé des procédés de traitement économiques et innovateurs, dont l'épuration des eaux usées dans les terres humides. Actuellement, sept collectivités (voir le tableau 5) recourent à des terres humides, naturelles ou construites, combinées à des étangs de prétraitement facultatifs, afin de répondre à leurs besoins en matière d'épuration des eaux usées (Grainger et Yaworsky 1992). Certaines de ces terres humides ont été aménagées au milieu des années 1960 et sont encore exploitées. Dans la plupart des cas, les rejets sont saisonniers et ont lieu entre les mois de juin et de septembre. Une étude de faisabilité a été effectuée pour la ville de Whitehorse (Klohn Leonoff Yukon Consulting Engineers Ltd. et NovaTec Consultants Inc. 1991).

30

L'utilisation des terres humides à des fins de traitement des eaux usées dans les collectivités nordiques pose plusieurs problèmes. Le pergélisol (endommagement possible des talus), les faibles précipitations, les températures extrêmes, l'ensoleillement constant en été et la nuit polaire en hiver, notamment, peuvent créer des conditions septiques.

Territoires du Nord-Ouest

L'enquête menée sur les terres humides a révélé la présence d'au moins deux de ces systèmes en exploitation dans les Territoires du Nord-Ouest, soit à Hay River et à Pine Point. Il s'agit de terres humides naturelles qui reçoivent, sur une base saisonnière, les effluents d'étangs de stabilisation des eaux usées des municipalités.

Colombie-Britannique

On trouve des terres humides (grandeur réelle et grandeur d'essai) à 12 endroits différents en Colombie-Britannique (voir le tableau 5). Ces terres humides servent notamment aux fins suivantes : traitement des eaux pluviales à une station-service de carburant diesel pour camions, épuration des eaux d'exhaure et des eaux pluviales d'une mine de charbon, élimination du phosphore dans les eaux des ruisseaux se jetant dans des lacs à plusieurs endroits, épuration des lixiviats (y compris la décontamination des lixiviats provenant de déchets de bois utilisés pour la construction des routes sur des sols de faible portance), épuration des eaux usées d'une écloserie (aménagement d'au moins deux systèmes) et traitement des eaux usées urbaines (y compris deux systèmes construits sur des terres appartenant aux Autochtones).



Photo : J. Brunen

Une terre humide d'épuration avec des îles artificielles à Frank Lake (Alberta).

Il y a déjà un certain temps que l'on mène des recherches sur les systèmes de terres humides d'épuration en Colombie-Britannique, et cette province compte plusieurs entrepreneurs bien informés dans ce domaine.

Alberta

En Alberta, les organismes de réglementation considèrent le traitement des eaux usées et des eaux pluviales en terre humide comme une technique relativement nouvelle et peu éprouvée, qui doit faire l'objet d'autres recherches. La ville de Calgary a mis sur pied un groupe de travail approuvé par le ministère de l'Environnement de l'Alberta, qui a pour mission de réaliser une étude de faisabilité sur l'utilisation des terres humides à des fins de traitement des eaux pluviales. Plusieurs emplacements possibles ont été repérés, et l'on s'attend que, sur les huit, neuf ou dix qui seront choisis, deux fassent l'objet d'une surveillance poussée. On a également lancé un programme appelé *Wetlands for Tomorrow* (Terres humides pour demain), qui a pour objectif l'amélioration des terres humides, la création d'habitats naturels, le stockage de l'eau à des fins d'irrigation et le traitement des eaux d'égout. Au moins cinq installations d'épuration des eaux usées en terre humide sont en exploitation (voir le tableau 5).

Actuellement, les effluents des étangs de stabilisation et des stations d'épuration des eaux usées doivent satisfaire aux critères contenus dans les règlements avant d'être rejetés dans une terre humide. Ce dernier n'est donc pas considéré comme faisant partie intégrante des installations d'épuration des eaux usées. Comme la qualité des eaux provenant d'une terre humide n'est pas réglementée, il n'est donc pas nécessaire de surveiller les rejets. Des terres humides (grandeur réelle et d'essai) ont été utilisées, notamment pour épurer des eaux contaminées par des hydrocarbures et des eaux chargées de matières argileuses (stériles fins). Enfin, on envisage de recourir à des terres humides pour épurer les eaux de ruissellement pluviales des parcs d'engraissement.

Saskatchewan

En Saskatchewan, des terres humides construites ont été aménagées à des fins de traitement des eaux dans, au moins sept

«Un centre de vulgarisation décrit la fonction d'épuration des eaux usées au marais Oak Hammock (Manitoba).»

collectivités (voir le tableau 5) au cours de la dernière décennie, à la suite d'études de faisabilité. Dans de nombreux cas, le pouvoir filtrant de la terre humide n'a pas pu être établie, en raison du nombre insuffisant de données de surveillance. À Saskatoon, le Conseil de recherches de la Saskatchewan mène une étude sur une terre humide pilote de 20 m sur 40 m, servant à l'élimination du phosphore et des algues bleues.

La ville de Humbolt fournit un exemple de terre humide construite pilote qui n'a apparemment pas répondu aux attentes. Ce système, que l'on a commencé à utiliser en 1979, a servi pendant plusieurs années. On y déversait de façon saisonnière les effluents d'un étang de stabilisation des eaux usées. Au terme de la période d'essai, l'installation a été abandonnée. Selon un résidant de la municipalité, la terre humide a été abandonnée pour des raisons hydrologiques et climatiques. Pourtant, les données recueillies étaient comparables à celles d'autres installations en bon état de fonctionnement. Il est possible que les attentes de la ville aient été déraisonnables par rapport à la nature de l'installation.

La terre humide de la ville d'Estevan a été construite par la Saskatchewan Power, à qui elle appartient, dans le but de traiter les effluents du bassin de traitement secondaire de la ville. Les eaux traitées servent à des fins industrielles par une centrale électrique, après réduction de la DBO et de la teneur en MSTs.

Manitoba

Selon l'Administration du rétablissement agricole des Prairies (ARAP), la plupart des systèmes de traitement des eaux usées du Manitoba sont des bassins. Dans le cadre de la présente étude, une seule terre humide servant à cette fin a été répertoriée. Canards Illimités Canada a établi un système de traitement des eaux usées avec une terre humide construite au Centre de conservation du marais Oak Hammock, près de Stonewall, afin d'épurer les effluents d'un bassin de traitement secondaire qui ne satisfont pas aux normes provinciales et fédérales de qualité de l'eau en ce qui a trait à l'élimination du phosphore. Le marais Oak Hammock est une terre humide de 1 600 ha que l'on a aménagé en remettant en état une partie d'une ancienne terre humide qui couvrait environ 40 500 ha; ce dernier avait été asséché et réduit à environ 40 ha au milieu des années 1970. Le système d'épuration construit, qui est exploité depuis 1993, occupe plusieurs hectares en bordure du marais. On a construit des plates-formes aux abords et à l'intérieur de ce site pour permettre l'observation de la faune. Un centre de vulgarisation décrit la fonction d'épuration des eaux de la terre humide. Enfin, un programme de surveillance de la qualité de l'eau veille au maintien du meilleur rendement possible.

Ontario

En Ontario, le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation encourage fortement l'utilisation des terres humides pour le traitement des eaux usées. Un programme lancé en 1993 prévoit l'aménagement de huit terres humides d'ici la fin de 1994 dans le secteur agricole, surtout pour le traitement des eaux de ruissellement de parcs à bestiaux, en différents endroits de la province. Cinq de ces milieux sont déjà en exploitation. Le programme vise à mettre en place des systèmes de recirculation en milieu fermé, de manière à empêcher tout rejet direct dans les cours d'eau. Les effluents traités seront éliminés par évaporation et les surplus d'eau seront drainés; les exploitants n'auront donc pas à obtenir un certificat d'approbation pour la déchet des eaux en surface. Répartis dans différentes



Photo : C. Rubec, Environnement Canada

L'éducation joue un rôle primordial au Centre de conservation du marais Oak Hammock, à Stonewall (Manitoba). Le site comporte une terre humide d'épuration.

régions climatiques, ces terres humides feront l'objet d'études qui viseront à déterminer, au cours des prochaines années, leur potentiel d'utilisation par les agriculteurs ontariens.

Les autres terres humides d'épuration remplissent les rôles suivants : épuration des eaux usées d'une école secondaire dans le sud de l'Ontario; dérivation des rejets d'une station d'épuration des eaux d'égout en cas de pluies abondantes dans le nord de l'Ontario; traitement des eaux pluviales d'un terrain de stationnement; épuration des eaux de ruissellement d'un parc à cendres et à charbon d'une centrale thermique; divers petits travaux d'épuration des eaux usées et des eaux pluviales. Au moins 11 terres humides destinées à l'épuration des eaux usées ont été aménagées en Ontario.

Le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario soutient que les eaux usées devraient satisfaire au moins aux normes d'un traitement secondaire avant d'être rejetées dans la terre humide. Il tient aussi à ce que l'assimilation du phosphore

et son rejet subséquent par la terre humide au printemps et à l'automne soient pris en considération au moment de la conception du système. On a également noté qu'une augmentation de la teneur en sulfure d'hydrogène dans la terre humide pouvait entraîner un rejet anaérobie. Des rejets saisonniers ont été jugés préférables à des rejets effectués pendant toute l'année.

Plusieurs installations-pilotes font ou ont fait l'objet d'une surveillance, y compris la décharge de Storrington (au nord de Kingston), qui sert à l'épuration des lixiviats, celle de Niagara-on-the-Lake, qui sert au traitement tertiaire des effluents secondaires, et celle de Listowel, qui sert à l'épuration des effluents provenant des bassins de traitement primaire et secondaire. Il est important de noter que les quantités considérables de données recueillies à Listowel sont très utiles à de nombreux spécialistes des terres humides. Les terres humides qui seront aménagées dès que les organismes de réglementation auront donné leur approbation comprennent une terre humide destinée à l'épuration des eaux usées, qui a été conçue pour la ville de Kanata. De nombreux projets sont au stade des études préalables à la conception ou au stade de la conception et sont examinés par les clients.

Québec

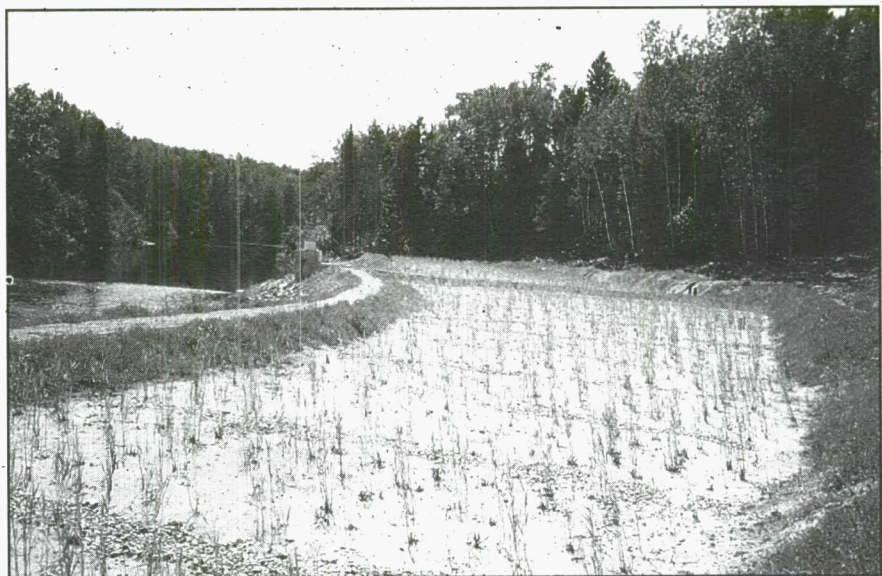
Il existe de nombreuses terres humides construites, au Québec; la majorité d'entre eux sont du type à écoulement souterrain. Ces systèmes servent au traitement des eaux usées de fosses septiques, à l'épuration des effluents urbains d'étangs de stabilisation, au traitement tertiaire (élimination du phosphore) des eaux usées urbaines, à l'épuration des eaux d'exhaure acides et à l'épuration des eaux résiduaires très polluées d'un jardin zoologique. Plusieurs comportent un dispositif de filtration à écoulement vertical en amont du point de rejet dans la terre humide. À

Montréal, on s'est servi d'une terre humide construite pour améliorer la qualité de l'eau d'une piscine. Le système où seront traitées les eaux usées de la Biosphère à l'île Sainte-Hélène aura une fonction éducative : son fonctionnement sera décrit sur des panneaux d'information. La région du lac Simon et de Papineauville compte plusieurs installations en grandeur réelle destinées à l'épuration des eaux usées de maisons unifamiliales, d'un hôtel et du chalet d'un terrain de golf.

Nouveau-Brunswick

Au Nouveau-Brunswick, les organismes de réglementation étudient le recours aux systèmes d'épuration naturels, y compris les terres humides, pour effectuer le traitement tertiaire des eaux usées, des eaux polluées provenant de sources agricoles diffuses et des eaux pluviales. En février 1994, le ministère de l'Agriculture du Nouveau-Brunswick a organisé un atelier sur l'utilisation des terres humides dans le traitement des eaux de ruissellement agricoles. Des présentations ont été faites par une entreprise américaine qui, ces six dernières années, a mis en place des systèmes semblables à moins de 20 kilomètres de la frontière entre le Canada et les États-Unis.

Actuellement, le ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick exige que les effluents des bassins d'épuration satisfassent aux objectifs de rejet avant



Site d'une terre humide construite, Québec.

d'être déversés en terre humide. Aussi les quelques terres humides exploitées à ce jour ont-elles servi à des fins de traitement tertiaire. Le Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada a effectué une recherche documentaire sur le recours aux terres humides pour traiter les eaux usées et les eaux pluviales, dans le but de mieux comprendre les procédés en cause et les applications potentielles.

Selon le bureau du Service canadien de la faune d'Environnement Canada à Sackville, l'épuration en terre humide devrait être considérée comme une technique qui répond aux besoins de traitement tertiaire de petites collectivités, mais qui n'est guère appropriée pour l'élimination des métaux et des substances toxiques. Dans les organismes de réglementation provinciaux, ce type de traitement intéresse certaines personnes qui hésitent cependant à l'approuver de façon automatique; ces dernières optent plutôt pour l'examen des applications possibles au cas par cas.

Les autres sujets d'intérêt, dans cette province, sont les suivants : l'aménagement d'un lit bactérien en amont des terres humides; l'épuration des eaux usées de l'industrie pétrolière; le traitement des eaux usées des petites collectivités par des systèmes à base de tourbe; l'épuration des lixiviats de décharge; la transformation d'anciennes zones de culture des aïelles, où des travaux de terrassement ont déjà été effectués, dans les terres humides construites.

Nouvelle-Écosse

Le développement des systèmes de terres humides d'épuration est considéré comme étant moyennement à hautement prioritaires par le ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse. Un atelier s'est tenu à Truro (Nouvelle-Écosse) en août 1994 sur le sujet de la traitement des eaux usées d'industrie laitière et des eaux de ruissellement provenant des amoncellements d'engrais sur les fermes laitières. Le Ministère a effectué une recherche documentaire sur le recours aux terres humides pour traiter les eaux usées et les eaux pluviales.

On examine activement les possibilités de traitement des eaux usées en terre humide dans la province. Ainsi, Canards Illimités Canada termine la conception d'un système d'épuration faisant appel à ce type de système. Le Service canadien de la faune attend l'autorisation de construire une terre humide qui servira à épurer les effluents d'un bassin de traitement secondaire. La construction d'une serre géothermique est présentement sous considération pour la production en toutes saisons des espèces végétales palustres pour les terres humides construites. Enfin, 29 collectivités pourraient envisager de recourir aux terres humides construites servant au traitement des eaux usées pour à satisfaire leurs besoins en matière d'épuration des eaux usées.

Île-du-Prince-Édouard

En 1993, l'usine de transformation de pommes de terres de Cavendish Farms a commencé à utiliser une terre humide naturelle pour le traitement tertiaire d'un effluent qui était déjà de grande qualité. Elle compte sur les espèces végétales indigènes pour assurer la colonisation naturelle de la terre humide.

La Direction de la pêche et de la faune de l'Île-du-Prince-Édouard vient de terminer un inventaire des terres humides de la province. On n'a trouvé aucune terre humide servant à l'épuration des eaux usées ou des eaux pluviales, mais certains étangs de stabilisation sont en train de se transformer en terres humides, car les espèces végétales palustres y croissent librement.

Le ministère de l'Environnement de l'Île-du-Prince-Édouard a tenu des rencontres avec le Service canadien de la faune et Canards Illimités Canada au sujet de l'utilisation de terres humides construites en vue du traitement tertiaire des eaux usées. Le Service de la protection de l'environnement a indiqué que les responsables d'une nouvelle décharge ont recours à une terre humide naturelle d'épuration.

Terre-Neuve et Labrador

La Division du génie sanitaire de Terre-Neuve et du Labrador a déclaré qu'aucune terre humide n'était actuellement utilisée comme moyen d'épuration des eaux usées à Terre-Neuve, mais qu'elle considérait la terre humide et la tourbière comme des moyens auxquels on pourrait recourir dans l'avenir.

À Humber Arm, les responsables du Programme d'action des zones côtières de l'Atlantique ont souligné que 28 émissaires de collectivités côtières de Terre-Neuve rejetaient à la mer des eaux usées brutes. Plusieurs collectivités de l'intérieur procèdent à une forme quelconque de traitement des eaux usées, et certaines maisons disposent de fosses septiques. L'épuration des eaux usées fait partie des principales priorités de la province.

L'enquête sur les organismes et les pouvoirs publics qui participent à la gestion des systèmes de traitement des eaux usées et des eaux pluviales révèle qu'au Canada le traitement en terre humide suscite maintenant beaucoup d'intérêt et que le recours à cette technique est bien accepté. Les activités qui y sont liées comprennent l'utilisation et la mise en valeur d'un petit nombre de terres humides naturelles ainsi que l'aménagement de terres humides construites à écoulement en surface, de terres humides construites à écoulement souterrain et de systèmes de plantes aquatiques flottantes. Au pays, on trouve des terres humides d'épuration, en exploitation ou à l'état de projet, à 67 endroits répartis dans toutes les provinces et tous les territoires. Ces systèmes servent à traiter des eaux usées urbaines et industrielles ainsi que des eaux de ruissellement pluviales municipales et agricoles. On examine la possibilité de les utiliser pour épurer les eaux usées des aéroports, des parcs, des collectivités isolées ainsi que des usines de pâtes et papier.

Les effets potentiels du traitement des eaux usées et des eaux pluviales en terre humide sur le biote ont été examinés. Sur le plan de l'environnement, on estime que les préoccupations, et les risques peuvent être atténués si les ouvrages sont bien conçus et si l'on met à profit les techniques existantes, tout comme celles qui se développent. À ce jour, seulement 6 % des terres humides aménagées au Canada - il s'agit surtout de systèmes conçus à la fin des années 1970 et au début des années 1980 - n'ont pas donné les résultats escomptés. Toutefois, ils constituent des prototypes et ont fourni des données cruciales pour l'amélioration de systèmes plus récents adaptés aux conditions nordiques. Les autres terres humides (94 %) illustrent comment le développement technologique et les recherches ont permis d'accroître l'importance des terres humides construites dans le traitement des eaux usées et des eaux pluviales.

Conclusions

Bakke, R. 1994. Integrated treatment parks in large-scale decentralized management of drainage basins. Dans *Proceedings, 4th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Guangzhou (Chine), Novembre 1994.

Bond, W. K., K. W. Cox, T. Heberlein, E. W. Manning, D. R. Witty et D. A. Young. 1992. *Guide d'évaluation des terres humides. Rapport final du projet Les terres humides ne sont pas des terres de désolation*. Série de communications sur les terres humides durables, Communication n° 1992-1. Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada). Ottawa (Ontario). 127 p.

Cooper, P. F. et B. C. Findlater, éditeurs. 1990. Constructed wetlands in water pollution control. Dans *Proceedings, International Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. Cambridge (Royaume-Uni), le 24-28 septembre 1990. Pergamon Press. Oxford (Royaume-Uni).

Cox, K. W. 1993. *Les terres humides : un hymne à la vie*. Série de communications sur les terres humides durables, Communication n° 1993-1. Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada). Ottawa (Ontario), 73 p.

Erwin, K. L. 1991. *An Evaluation of Wetland Mitigation in the South Florida Water Management District. Volume I*. Contrat n° C89-0082-A1. South Florida Water Management District. Tampa (Floride).

Garbish, E. 1990. Information needs in the planning process for wetland creation and restoration. Dans *Wetland Creation and Restoration: The Status of the Science*. Island Press. Washington (D.C.).

Gouvernement du Canada. 1991. *La Politique fédérale sur la conservation des terres humides*. Environnement Canada. Ottawa (Ontario). 14 p.

Grainger, J. M. et R. Yaworsky. 1992. *Wetlands Sewage Treatment for Yukon Communities: an Overview*. David Nairne and Associates Ltd. Whitehorse (Yukon).

Groupe de travail national sur les terres humides. 1986. *Canada : terres humides. (a) Canada - Régions à terres humides; (b) Canada - Répartition des terres humides*. Un dépliant des cartes. Énergie, Mines et Ressources Canada et Environnement Canada. Ottawa (Ontario).

Groupe de travail national sur les terres humides. 1987. *Le système de classification des terres humides du Canada*. Série de la classification écologique du territoire, n° 21. Service canadien de la faune, Environnement Canada. Ottawa (Ontario).

Groupe de travail national sur les terres humides. 1988. *Terres humides du Canada*. Série de la classification écologique du territoire, n° 24. Environnement Canada et Polyscience Publications Inc. Montréal (Québec). 452 p.

Gumbrecht, T. 1992a. Nutrient removal capacity in submersed macrophyte pond systems in a temperate climate. *Ecological Engineering* 2(1).

Gumbrecht, T. 1992b. Tertiary wastewater treatment using a root zone method in temperate climates. *Ecological Engineering* 1: 199-212.

Hedin, R. S. et R. W. Nairn. 1992. Designing and sizing passive mine drainage treatment systems. Dans *Proceedings, 13th Annual West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium*. Morgantown (Virginie Ouest), le 8-9 avril 1992.

Herskowitz, J. et al. 1986. Listowel artificial marsh project. Dans *Technology Transfer Conference: Proceedings*. External Research Projects, Part B, Water Quality Research. Le 8-9 décembre 1986. Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Toronto (Ontario).

Jenssen, P. D. et al. 1992. Adapting constructed wetlands for wastewater treatment to northern environments. Dans *Global Wetlands: Old World and New*. W. J. Mitsch, éditeur. Elsevier Publishers. Amsterdam (Pays-Bas).

Références

- Jenssen, P. D. *et al.* 1994. The use of constructed wetlands in cold climates. *Dans Proceedings, 4th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. Guangzhou (Chine), novembre 1994.
- Kadlec, R. H. et R. L. Knight. En préparation. *Wetlands for Wastewater Treatment*. Lewis Publishers. Boca Raton (Floride).
- Klohn Leonoff Yukon Consulting Engineers Ltd. et Novatec Consultants Inc. 1991. *Sewage Treatment Feasibility Study Phase II Report*. Klohn Leonoff Yukon Consulting Engineers Ltd. Whitehorse (Yukon).
- Knight, R. L. *et al.* 1991. *Database: North American Wetlands for Water Quality Treatment*. United States Environmental Protection Agency. Corvallis (Oregon).
- Knight, R. L. *et al.* 1993. *Database: North American Wetlands for Water Quality Treatment, Phase II Report*. United States Environmental Protection Agency. Corvallis (Oregon).
- Lynch-Stewart, P., C. D. A. Rubec, K. W. Cox et J. H. Patterson. 1993. *Un processus en pleine évolution : les politiques sur la conservation des terres humides au Canada*. Rapport n° 93-1. Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada). Ottawa (Ontario). 66 p.
- Miller, G. 1989. Use of artificial cattail marshes to treat sewage in northern Ontario, Canada. *Dans Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*. D. A. Hammer, éditeur. Lewis Publishers. Chelsea (Michigan).
- Ministère de l'Environnement de l'Ontario et la Metropolitan Toronto and Region Conservation Authority. 1992. *Constructed Wetlands for Stormwater Management: à Review*. Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Toronto (Ontario).
- Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario - Groupe de travail provincial sur les terres humides. 1992. *System for Evaluating Wetlands in Southern Ontario*. Toronto (Ontario).
- Reed, S. C. *et al.* 1988. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. McGraw-Hill Publishers. New York (New York).
- Schueler, T. R. 1992. *Design of Stormwater Wetland Systems: Guidelines for Creating Diverse and Effective Stormwater Wetlands in the Mid-Atlantic Region*. Anacostia Restoration Team, Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments. Washington (D.C.).
- Sheehy, G. 1993. *Conservation des terres humides dans les forêts aménagées*. Série de communications sur les terres humides durables, Communication n° 1993-2. Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada). Ottawa (Ontario). 34 p.
- Soil Conservation Service. 1992. Wetland restoration, enhancement, or creation. Chapitre 13. *Dans Engineering Field Handbook*. United States Department of Agriculture. Washington (D.C.).
- Water Pollution Control Federation. 1990. Wetland Systems. Chapitre 9. *Dans Natural Systems for Wastewater Treatment: Manual of Practice*. Rapport n° FD-16. Alexandria (Virginie).

On a effectué une recherche pour connaître les ouvrages canadiens publiés sur l'utilisation des terres humides dans le traitement des eaux usées et des eaux pluviales. Quelques ouvrages américains et européens sont également inclus, car une bonne partie des renseignements touchant la conception et la recherche qui sont actuellement disponibles proviennent de ces sources. Les références sont fournies ci-dessous.

Sources canadiennes

Anderson, M. Pas de date de publication. *Constructed Wetlands for Treating Non-Point Source Pollution*. Rapport préliminaire. Université de Guelph, Guelph (Ontario). Non publié.

Anonyme. 1985. *Proceedings, 17th Drainage Engineers' Conference*, octobre 1985. Université de Guelph, School of Engineering, Guelph (Ontario).

Anonyme. 1987. *Proceedings, Annual Conference of the Alberta Branch, Canadian Water Resources Association*. Organisé en coopération avec le Alberta Chapter, Soil Conservation Society of America, 23-25 octobre 1985. Edmonton (Alberta). *Canadian Water Resources Journal* 12(3): septembre.

Anonyme. 1989. Water Management at Minesites. *Dans Proceedings, 13th Annual British Columbia Mine Reclamation Symposium*, 7-9 juin 1989. Vernon (Colombie-Britannique).

Anonyme. 1991. Wetlands sewage treatment tested in the North. *Water and Pollution Control*, octobre 1991: 9-10.

Anonyme. 1992. Treating sewage naturally. *Newsletter of the Canadian Waterfront Resource Centre*, octobre 1992: 15-16.

Anonyme. 1994. *Maritime Provinces Water and Wastewater Report* 1(3): janvier 1994.

Bernard, D. J. et V. G. Bartnik. 1987. *Tsawwassen Indian Reserve Flood Control Works: Post-Project Environmental Analysis*. Environnement Canada. Vancouver (Colombie-Britannique).

Birkbeck, A. E. *et al.* 1990. Application of natural and engineered wetlands for treatment of low-strength leachate. *Dans Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. P. F. Cooper et B. C. Findlater, éditeurs. Pergamon Press. Toronto (Ontario).

Black, S. A. 1983. The use of marshlands in wastewater treatment: Ontario's research programs. *Dans Proceedings, Technology Transfer Conference No 4*, 23-30 novembre 1983. Toronto (Ontario).

Boojum Research Ltd. Pas de date de publication. *Passive Treatment Systems, Bibliography*. Toronto (Ontario).

Cairns, J. E. *et al.* 1991. Integrated field and laboratory experiments in ecological engineering methods for acid mine drainage treatment. Résumé. *Dans Proceedings, Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainages*, septembre 1991. Montréal (Québec).

Canards Illimités Canada. Pas de date de publication. *Frank Lake Complex, High River, Alberta*. Bureau provincial, Canards Illimités Canada. Edmonton (Alberta).

Carlisle, T. J. et G. Mulamootil. 1991. Artificial wetlands for the treatment of stormwater. *Canadian Water Resources Journal* 16(4): 331-343.

Carlisle, T. J. *et al.* 1991. Attitudes towards artificial wetlands in Ontario for stormwater control and waterfowl habitat. *Water Resources Bulletin* 27(3): 419-427.

Autres ouvrages

CH2M HILL Engineering Ltd. 1992. *Wetland Characterization Study at Lambton Thermal Generating Station (TGS)*. Waterloo (Ontario).

CH2M HILL Engineering Ltd. 1993. *Final Report for Preliminary Investigation for Stormwater and Wastewater Treatment Using an Existing Wetland at Ontario Hydro's Bruce Nuclear Power Development*. Waterloo (Ontario).

Conestoga-Rovers and Associates. 1992. *Wetlands Environmental Impact Assessment Leachate Treatment Facility Sarnia Landfill Site, County of Lambton*. Conestoga-Rovers and Associates. Waterloo (Ontario).

David Nairne and Associates Ltd. et NovaTec Consultants Inc. 1991. *Ross River Wetlands Environmental Impact Assessment*. Whitehorse (Yukon).

Dickman, M. D. *et al.* 1990. *Toxic Effects of Industrial Discharges on Wet Land Biological Communities*. Environnement Canada. Burlington (Ontario).

Environnement Canada. 1987. *Proceedings, Acid Mine Drainage Seminar/Workshop*, 23-26 mars 1987. Halifax (Nouvelle-Écosse).

EVS Consultants. 1994. *Constructed Wetlands for the Treatment of Oil Sands Wastewater, Final Report*. Rapport technique n° 3. North Vancouver (Colombie-Britannique).

Forum sur les terres humides durables. 1990. *Terres humides durables : Un défi international des années 1990*. Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada). Ottawa (Ontario).

Fried, E. 1973. Wetlands inventory, methods and uses. *Dans Proceedings, Waterfowl Habitat Management Symposium*, 30 juillet - 1 août 1973. Moncton (Nouveau-Brunswick).

Fyson, A. *et al.* 1991. Effect of foliar fertilization on the accumulation of iron by *Typha latifolia*. Résumé. *Dans Proceedings, 18th Annual Conference on Wetlands Restoration and Recreation*. Tampa (Floride).

Fyson, A. *et al.* 1994. Arsenic and nickel removal by wetland sediments: lab experiments. Résumé. *Dans Proceedings, International Land Reclamation and Mine Drainage Conference*, 14-19 avril 1994. Pittsburgh (Pennsylvanie).

Fyson, A. et M. Kalin. 1993a. Microbially mediated metal removal from acid mine drainage. Résumé. *Dans Proceedings, FEMS Symposium on Metals-Microorganisms Relationships and Applications*, 5-7 mai 1993. Metz (France).

Fyson, A. et M. Kalin. 1993b. Vegetation establishment on relatively fresh, acid-generating base metal tailings. Résumé. *Dans Proceedings, Canadian Land Reclamation Association Conference*, 11-13 août 1993. Lindsay (Ontario).

Gannon, J. E. *et al.* 1985. Melding technical information with community effort - a watershed council's role in water quality protection. *Dans Lake and Reservoir Management: Practical Applications: Proceedings of the 4th Annual Conference and International Symposium*, 16-19 octobre 1984. North American Lake Management Society. McAfee (New Jersey).

Gehrels, J. et G. Mulamoottil. 1990. Hydrologic processes in a southern Ontario wetland. *Hydrobiologia* 208(3): 221-234.

Gouvernement de l'Ontario. 1992. *En matière de terres humides*. Déclaration de principes du gouvernement de l'Ontario. Adoptée conformément à l'article 3 de la loi sur l'aménagement du territoire de 1983. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario et Ministère des Affaires municipales de l'Ontario. Toronto (Ontario).

Gulley, J. R. et P. G. Nix. Pas de date de publication. *Wetland Treatment of Oil Sands Operation Waste Waters*. EVS Consultants Ltd. North Vancouver (Colombie-Britannique).

Hall, R. 1984. Dealing with wastewater, biologic treatments find success. *Canadian Research* 17(5): 21-22, septembre 1984.

Hamilton, H. *et al.* 1993. An overview of constructed wetlands as alternatives to conventional waste treatment systems. *Water Pollution Research Journal of Canada* 28(3): 529-548.

Hicks, R. W. B. *et al.* 1993. Urban wetlands for multidisciplinary stormwater management. *Dans Proceedings, Engineering Hydrology Symposium*. Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers. San Francisco (Californie).

Hogg, E. H. et R. W. Wein. 1987. Buoyancy and growth of floating cattail mats in a dyked impoundment in New Brunswick. *Dans Proceedings, Symposium '87 Wetlands/Peatlands*. C. Rubec et R. P. Overend, éditeurs, 23-27 août 1987. Canadian Society for Peat and Peatlands. Dartmouth (Nouvelle-Écosse).

Jeglum, J. K. et R. P. Overend (éditeurs). 1991. *Proceedings, Symposium '89: Peat and Peatlands Diversification and Innovation*, 6-10 août 1989. Canadian Society for Peat and Peatlands. Québec (Québec).

Jeglum, J. K. *et al.* 1974. *Towards a Wetland Classification for Ontario*. Service canadien des Forêts. Sault Ste-Marie (Ontario).

Jeglum, J. K. 1987. The use of Twinspan, tabular analysis and Finnish/Swedish concepts in classifying wooded peatlands in Ontario. *Dans Proceedings, Symposium '87 Wetlands/Peatlands*. C. D. A. Rubec et R. P. Overend, éditeurs. Canadian Society for Peat and Peatlands. Dartmouth (Nouvelle-Écosse).

Jensen Engineering Ltd. 1988. *Slough Consolidation and Runoff Retention, The Massey Research Project*. Olds (Alberta).

Kalin, M. 1986. Biological polishing of acidic seepage creeks. Résumé. *Dans Proceedings, BIOMINET Annual Meeting*, 20-21 août 1986. Toronto (Ontario). p. 173-174.

Kalin, M. 1990. Ecological responses of bog vegetation receiving coal acid mine drainage. Résumé. *Dans Proceedings, Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, septembre 1990. Cambridge (Royaume-Uni).

Kalin, M. 1991a. Ecological engineering applied to base metal mining wastes for decommissioning. Résumé. *Dans Proceedings of the BIOMINET Annual Meeting*.

Kalin, M. 1991b. Biological alkalinity generation in acid mine drainage. Résumé. *Dans Proceedings of the 23rd Mineral Processors Conference*, 22-24 janvier 1991. Ottawa (Ontario).

Kalin, M. 1992. Decommissioning open pits with ecological engineering. Résumé. *Dans Proceedings, Canadian Land Reclamation Association Conference*. Smithers (Colombie-Britannique).

Kalin, M. 1993. Reconstructing ecosystems in the mining sector. Résumé. *Dans Proceedings, Environmental Management for Mining Conference*, 25-29 octobre 1993. Saskatoon (Saskatchewan).

Kalin, M. *et al.* 1989. Ecological engineering measures developed for acid generating waste from a copper/zinc concentrator in northern Ontario. *Dans Proceedings, Conference on Reclamation: a Global Perspective*. Calgary (Alberta). p. 661-672.

- Kalin, M. *et al.* 1989. Ecological engineering measures developed for acid-generating waste: the close out of a decant pond. Dans *Proceedings, International Symposium on Tailings and Effluent Management*. Halifax (Nouvelle-Écosse). p. 195-206.
- Kalin, M. *et al.* 1990. Ecological engineering: interpretation of hydrogeochemical observations in sulfide tailings deposits. Résumé. Dans *Proceedings, 92nd Annual General Meeting of the Canadian Institute of Mining*.
- Kalin, M. *et al.* 1991. Ecological engineering methods for acid mine drainage treatment of coal wastes. Résumé. *Resources, Conservation and Recycling* 5.
- Kalin, M. *et al.* 1991. Acid mine drainage amelioration in natural bog systems. Résumé. Dans *Proceedings, International Conference on the Abatement of Acidic Drainages*, septembre 1991. Montréal (Québec).
- Kalin, M. *et al.* 1993. ARUM: Acid Reduction Using Microbiology. Résumé. Dans *Proceedings, International Biohydro-metallurgy Conference*, août 1993. Jackson Hole (Wyoming).
- Kalin, M. et R. G. Buggeln. 1986. Cattail stand development on base metal tailings areas. Dans *Proceedings, 11th Annual Meeting Land Rehabilitation: Policy, Planning and Operational Programs*. Canadian Land Reclamation Association, 3-6 juin 1986. Vancouver. (Colombie-Britannique). p. 261-276.
- Kalin, M. et R. Scribailo. 1988. Biological treatment of acid mine drainage, morphological/anatomical aspects of cattail transplants. Dans *Proceedings, BIOMINET Annual Meeting*. Calgary (Alberta). p. 57-68.
- Kalin, M. et H. D. Sharma. 1981. Radium-226 and lead-210 uptake in *Typha latifolia* from inactive uranium mill tailings in Canada. Dans *Environmental Migration of Long-Lived Radionuclides Conference*, 7-31 juillet 1981. Knoxville (Tennessee). p. 247-262.
- Kalin, M. et M. P. Smith. 1986. Ra-226 and Pb-210 concentration ratios in terrestrial and wetland plants on inactive and abandoned uranium mill tailings in Canada. Résumé. Dans *Proceedings, Canadian Nuclear Society, 7th Annual Conference*, 9-10 juin 1986. Toronto (Ontario). p. c9-c10.
- Kalin, M. et M. P. Smith. 1991. Biological amelioration of acidic seepage streams. Dans *Proceedings, 2nd International Conference on the Abatement of Acidic Seepages*, septembre 1991. Montréal (Québec). p. 355-368.
- Kalin, M. et M. P. Smith. 1992. Development of floating *Typha* mats. Résumé. Dans *Proceedings, International Specialist Conference on Wetland Systems in Water Pollution Control*, octobre 1992. Sydney (Australie).
- Kalin, M. et R. van Everdingen. 1987. Ecological engineering: biological and geochemical aspects, Phase 1 experiments. Dans *Proceedings of the Acid Mine Drainage Seminar/Workshop*, 23-26 mars 1987. Environnement Canada. Ottawa (Ontario).
- Kent, R. L. 1987. Wetlands wastewater treatment: Blue Quills School, St. Paul, Alberta. Dans *Proceedings, Symposium '87 Wetlands/Peatlands*. C. Rubec et R. P. Overend, éditeurs, 23-27 août 1987. Canadian Society for Peat and Peatlands. Dartmouth (Nouvelle-Écosse).

Keys, D. 1992. *L'extraction de la tourbe et l'environnement au Canada*. Série de communications sur les terres humides durables, Communication n° 1992-3. Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada). Ottawa (Ontario). 33 p.

Lakshman, G. 1979. An ecosystem approach to the treatment of waste waters. *Journal of Environmental Quality* 8(3): 353-361.

Lakshman, G. 1980. Wetland vegetation: an ecological rediscovery. *Dans Proceedings, Workshop on Canadian Wetlands, a Meeting of the National Wetlands Working Group*. C. D. A. Rubec et F. C. Pollett, éditeurs. Série de la classification écologique du territoire, n° 12. Direction générale des terres, Environnement Canada. Ottawa (Ontario).

Lakshman, G. 1982. *Natural and Artificial Ecosystems for the Treatment of Wastewaters*. Saskatchewan Research Council. Saskatoon (Saskatchewan).

Lakshman, G. 1983. *A Demonstration Project at Humboldt to Provide Tertiary Treatment to the Municipal Effluent Using Aquatic Plants*. Saskatchewan Research Council. Saskatoon (Saskatchewan).

Lakshman, G. 1994. Design and operational limitations of engineered wetlands in cold climates: Canadian experience. Résumé. *Dans Global Wetlands: Old World and New*. W. J. Mitsch, éditeur. Elsevier Publishers. Amsterdam (Pays-Bas).

Lemon, E. R. et I. D. Smith. 1993. *Sewage Waste Amendment Marsh Process (SWAMP), Interim Report*. Rapport préliminaire pour Friends of Fort George. Niagara-on-the-Lake (Ontario). Non publié.

Les consultants RSA. 1992a. Conception d'un système de traitement d'eaux usées à partir de marais artificiels adapté aux conditions québécoises. *Dans Proceedings, 15th International Symposium on Wastewater Treatment*, novembre 1992. Montréal (Québec).

Les consultants RSA. 1992b. *Contribution à la compréhension de l'écologie des Phragmites (roseaux) au Québec*. Alma (Québec).

Les consultants RSA. 1992c. Évaluation du risque associée à l'usage du Roseau commun (*Phragmites australis*) pour le traitement des eaux usées au Québec. *Dans Proceedings, Association Québécoise des techniques de l'eau (AQTE) Conférence régionale au Québec*, octobre 1992. Québec (Québec).

Les consultants RSA. 1992d. Potentiel des systèmes de traitement des eaux usées par marais pour usage au Québec. *Dans Proceedings, Technical Meeting on Wastewater Treatment Using Aquatic Plants*, novembre 1992. Québec (Québec).

Les consultants RSA. 1993. *Systèmes de traitement des eaux usées par marais artificiels*. Alma (Québec).

Liu, J. Y. et M. Kalin. 1992. Determination of metal ions in acid mine drainage using a simple titration method. Résumé. *Dans Proceedings, 42nd Annual Canadian Engineering Conference*. Toronto (Ontario).

Lorimer, R. J. et al. 1991. *A Wetlands Sewage Treatment System for the Community of Teslin*. Teslin (Yukon).

Lynch-Stewart, P. 1983. *Changement d'utilisation des terres humides au sud du Canada: revue et bibliographie*. Document de travail, n° 26. Direction générale des terres, Environnement Canada. Ottawa (Ontario).

Lynch-Stewart, P. 1992. *Aucune perte nette: Mise en oeuvre d'objectifs «aucune perte nette» pour la conservation des terres humides au Canada*. Série de communications sur les terres humides durables, Communication n° 1992-2. Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada). Ottawa (Ontario). 44 p.

Mansell, W. C. 1981. Recycling waste lands. *Park News* 17(3): 10-13.

Mark E. Taylor and Associates. 1992. *Constructed Wetlands for Stormwater Management: an Annotated Bibliography*. Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Toronto (Ontario).

Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. 1993. *Ontario's Wetlands Policy: Fact Sheet*. Toronto (Ontario).

Norecol Environmental Consultants Ltd. 1992. *Evaluation of Wetlands for Nutrient Removal from Coal Mine Wastewater, a Three Year Study*. Vancouver (Colombie-Britannique).

Parker, D. J. Pas de date de publication. *Biological Systems for the Treatment of Aqueous Effluents*. Division de recherche, Ontario Hydro. Toronto (Ontario).

Price, J. S. 1987. The influence of wetland and mineral terrain types on snowmelt runoff in the Subarctic. *Canadian Water Resources Journal* 12(2): 43-52.

Province de la Colombie-Britannique. Pas de date de publication. *Constructed Wetlands for Municipal Sewage Treatment in British Columbia*. Victoria (Colombie-Britannique).

Reynolds, P. J. et S. H. Ujjainwalla. 1971. *Conservation in Canada: Rivers, Lakes, Groundwater and Wetlands*. Environnement Canada. Ottawa (Ontario).

Rubec, C. D. A. et R. P. Overend (éditeurs). 1987. *Proceedings, Symposium '87, Wetlands/Peatlands, 23-27 août 1987*. Canadian Society for Peat and Peatlands. Dartmouth (Nouvelle-Écosse). 709 p.

Russell, R. D. 1987. Wetlands and water management. *Canadian Water Resources Journal* 12(3): 34-37.

SaskPower Corporation. 1992. *Shand Power Station Public Report on Make-up Water Utilizing Constructed Wetlands for Estévan Sewage Renovation*. Saskatoon (Saskatchewan).

Scott, T. 1993. Clean water from barnyard runoff. *Country Guide (Eastern Edition)*, mars 1993: 18-19.

Sharma, H. D. et M. Kalin. 1982. Lead-210 and total lead uptake in plants growing on abandoned or inactive uranium mill tailings. *Dans Proceedings, Canadian Nuclear Society, 3rd Annual Conference*, 8-9 juin 1982. p. D8-D14.

Smith, M. P. *et al.* 1993. Arsenic and nickel removal in wetland sediments: field experiments. Résumé. *Dans Proceedings, Environmental Management for Mining Conference*, 25-29 octobre 1993. Saskatoon (Saskatchewan).

Smith, M. P. et M. Kalin. 1988. Biological polishing: the Chara process. Dans *Proceedings, Canadian Land Reclamation Association 13th Annual Conference*. Ottawa (Ontario). p. 87-95.

Smith, M. P. et M. Kalin. 1989. Biological polishing of mining waste waters: bioaccumulation of the Characeae. Résumé. Dans *Proceedings, 1989 Biogydrometallurgy Conference*. Jackson Hole (Wyoming).

Smith, M. P. et M. Kalin. 1993. Using *Scirpus atrocinctus*, a sedge, in stabilizing tailings beaches and peat berms. Résumé. Dans *Proceedings, Canadian Land Reclamation Association Annual Conference*, 11-13 août 1993. Lindsay (Ontario).

Stabb, M. 1988. Wetlands conservation on a small scale: the beaver baffler and other micro-management projects on private lands. Dans *Wetlands: Inertia or Momentum, Proceedings of a Conference*, 21-22 octobre 1988. M. J. Bardecki et N. Patterson, éditeurs. Federation of Ontario Naturalists. Don Mills (Ontario).

Stewart, G. R. et J. M. Wohl. 1985. Wetland development in co-operation with agriculture: a Ducks Unlimited perspective. Dans *Proceedings, 38th Annual Conference, Canadian Water Resources Association*, 26-28 juin 1985. Lethbridge (Alberta).

Stone, D. D. et A. S. Lam. 1988. Ecological aspects for the design of storm water management storage. Dans *Proceedings, International Symposium on Urban Hydrology and Municipal Engineering*, 13-15 juin 1988. Markham (Ontario).

Tomcik, K. 1991. *Municipal Implementation of Provincial Policy: Response to the Guidelines for Wetlands Management in Kingston, Ontario*. Queen's University, School of Urban and Regional Planning. Kingston (Ontario).

Vandergaast, G. *et al.* 1988. The application of ecological engineering at a uranium mining facility in northern Saskatchewan. Résumé. Dans *Proceedings, International Symposium on Uranium and Electricity*. Saskatoon (Saskatchewan).

Vincent, G. 1992. Use of artificial wetlands for the treatment of recreational wastewater. Dans *Proceedings, Wetlands Down Under: 3rd International Conference on Wetland Systems in Water Pollution Control*, décembre 1992. Sydney (Australie).

Wheeler, M. *et al.* 1991. Ecological response of a bog to coal acid mine drainage: deterioration and subsequent initiation and recovery. Dans *Proceedings of the 2nd International Conference on the Abatement of Acidic Drainages*, septembre 1991. Montréal (Québec). p. 449-464.

Wheeler, W. *et al.* 1994. Ecological engineering: a low-maintenance treatment for acid coal seepages. Résumé. Dans *Proceedings, International Land Reclamation and Mine Drainage Conference*, 24-29 avril 1994. Pittsburg (Pennsylvanie).

Whitehead, A. J. *et al.* 1989. Nitrogen removal from coal mine wastewater using a pilot scale wetland: Year one results. *Dans Water Management at Minesites: Proceedings of the Thirteenth Annual British Columbia Mine Reclamation Symposium*, 7-9 juin 1989. Vernon (Colombie-Britannique).

Whitelaw, G. *et al.* 1989. Restoration of swampland: planning guidelines and recommendations. *Canadian Water Resources Journal* 14(2).

Wile, I. *et al.* 1981. Use of artificial wetlands for wastewater treatment. *Dans Selected Proceedings, Midwest Conference on Wetland Values and Management*, 17-19 juin 1981. Freshwater Society. Navarre (Minnesota).

Wile, I. et G. Miller. 1981. The use of wetlands for waste water renovation. *Dans Wetlands: Inertia or Momentum, Proceedings of a Conference*. M. Bardecki et N. Patterson, éditeurs, 18-19 septembre 1981. Federation of Ontario Naturalists. Don Mills (Ontario).

Williams, G. P. et J. Curran (éditeurs). 1976. *Proceedings, 16th Muskeg Research Conference*, 7 octobre 1975. Conseil national de Recherche du Canada. Ottawa (Ontario).

Worona, R. M. et U. S. Panu. 1992. Constructed wetlands for municipal wastewater treatment in small communities of northwest Ontario. *Dans Proceedings, 15th International Symposium on Wastewater Treatment and 4th Workshop on Drinking Water*, 17-19 novembre 1992. Montréal (Québec).

Sources étrangères

Anonyme. 1990. Wetlands for the purification of water (Moerassen voor de zuivering van water). *Utrecht Plant Ecology News* 11: octobre 1990.

Anonyme. 1992. Wetland systems in water pollution control. *Dans Proceedings, Third International Symposium on Water Pollution Control*. Sydney (Australie).

Anonyme. 1993. *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment*. Rapport n° EPA 832-R-93-001. Office of Water, United States Environmental Protection Agency. Washington (D.C.).

Anonyme. Pas de date de publication. *Bibliographic Database Search: Constructed Wetland*. National Small Flows Clearinghouse. Morgantown (Virginie-Ouest).

Bastian, R. K. et S. C. Reed (éditeurs). 1979. *Proceedings, Seminar on Aquaculture Systems for Wastewater Treatment*. Rapport n° EPA-MCD-67. United States Environmental Protection Agency. Washington (D.C.).

Carter, V. 1986. An overview of the hydrologic concerns related to wetlands in the United States. *Canadian Journal of Botany* 64: 364-374.

Chan, E. *et al.* 1982. *The Use of Wetlands for Water Pollution Control*. Rapport n° EPA 600/2-82-036. United States Environmental Protection Agency. Washington (D.C.).

Cooper, P. F. 1990. *European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems*. EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, Water Research Centre. Swindon (Royaume-Uni).

Davis, F. E. (éditeur). 1989. *Water: Laws and Management*. American Water Resources Association. Bethesda (Maryland).

Dobson, M. et F. Henderson. 1976. *Lake Ontario Atlas: Land Use*. State University of New York. Albany (New York).

Eisenberg, D. M. et J. R. Benneman. 1982. *An Overview of Municipal Wastewater Aquaculture*. Ébauche du rapport final. United States Environmental Protection Agency. Washington (D.C.).

Etnier, D. et B. Guterstam (éditeurs). 1991. *Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. Bokskogen Publishers. Gothenburg (Suède).

Fisk, D. W. (éditeur). 1989. *Wetlands: Concerns and Successes*. American Water Resources Association. Bethesda (Maryland).

Florida Department of Environmental Regulation. 1991. *Report on the Effectiveness of Permitted Regulation*. Tallahassee (Floride).

Godfrey, P. J. et al. 1985. *Ecological Considerations in Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*. Van Nostrand Reinhold. New York (New York).

Greeson, P. E. et al. 1979. *Wetland Functions and Values: The State of Our Understanding*. American Water Resources Association. Minneapolis (Minnesota).

Hammer, D. A. 1989. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural*. Lewis Publishers. Chelsea (Michigan).

Hammer, D. A. 1992. *Creating Freshwater Wetlands*. Lewis Publishers. Boca Raton (Floride).

Hammer, D. A. et R. H. Kadlec. 1983. *Design Principles for Wetland Treatment Systems*. Rapport n° EPA 600/2-83-026. United States Environmental Protection Agency. Washington (D.C.).

Hedin, R. S. et R. W. Nairn. 1992. Designing and sizing passive mine drainage treatment systems. *Dans Proceedings, 13th Annual West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium*, 8-9 avril 1992. Morgantown (Virginie Ouest).

Hook, D. D. et al. (éditeurs). 1988. *The Ecology and Management of Wetlands*. Deux volumes. Timber Press. Portland (Oregon).

Hydt, H. C. et al. 1984. *Technology Assessment of Wetlands for Municipal Wastewater Treatment*. Rapport n° EPA 600/2-84-154; PB-85-106896. United States Environmental Protection Agency. Washington (D.C.).

Jenkins, T. F. et al. 1985. Toxic organics removal kinetics in overland flow land treatment. *Water Research* 19(6): 707-718.

Kadlec, R. H. 1994. Wetlands for water polishing: free water surface wetlands. Résumé. *Dans Global Wetlands: Old World and New*. W. J. Mitsch, éditeur. Elsevier Publishers. Amsterdam (Pays-Bas).

Kaynor, E. R. et al. 1985. *Ecological Considerations in Wetland Treatment of Municipal Wastewater*. Van Nostrand Publishers. New York (New York).

- Kentula, M. E. *et al.* 1992. *An Approach to Improving Decision Making in Wetland Restoration and Creation*. A. J. Hairston, éditeur. United States Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory. Corvallis (Oregon).
- Kusler, J. A. et M. E. Kentula (éditeurs). 1990. Sommaire exécutif. *Dans Wetland Creation and Restoration: the Status of the Science*. Island Press. Washington (D.C.).
- Kusler, J. et R. Smardon (éditeurs). 1990. Wetlands of the Great Lakes, protection and restoration policies: status of the science. *Dans Proceedings of an International Symposium*, 16-18 mai 1990. Association of State Wetland Managers. Berne (New York).
- Marble, A. D. 1992. *A Guide to Wetland Functional Design*. Lewis Publishers. Boca Raton (Floride).
- Mitsch, W. J. et J. G. Gosselink. 1986. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold. New York (New York).
- Moshiri, G. A. 1993. *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Lewis Publishers. Boca Raton (Floride).
- Navara, G. A. 1992. Constructed wetlands for extensive sewage treatment in the Alps. Résumé. *Dans Proceedings, Global Wetlands: Old World and New*. Intecol 4th International Wetlands Conference, septembre 1992. Columbus (Ohio).
- Olson, R. K. (éditeur). 1993. *Created and Natural Wetlands for Controlling Nonpoint Source Pollution*. C. K. Smoley Publishers. Boca Raton (Floride).
- Reddy, K. R. et W. H. Smith (éditeurs). 1987. *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*. Magnolia Press. Orlando (Floride).
- Reed, S. C. 1990. *An Inventory of Constructed Wetlands Used for Wastewater Treatment in the United States*. United States Environmental Protection Agency. Washington (D.C.).
- Reed, S. C. 1991. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Biocycle*, janvier 1991: 44-49.
- Reed, S. C. *et al.* 1985. Wetlands for wastewater treatment in cold climates. *Dans Future of Water Reuse: Proceedings of the Water Reuse Symposium III*, 26-31 août 1984. American Water Works Association Research Foundation. Denver (Colorado).
- Steiner, G. R. et J. T. Watson. 1993. *General Design, Construction and Operation Guidelines, Constructed Wetlands Wastewater Treatment Systems for Small Users Including Individual Residences*. Deuxième édition. Tennessee Valley Authority. Chattanooga (Tennessee).
- Strecker, E. W. *et al.* 1992. *The Use of Wetlands for Controlling Stormwater Pollution*. Rapport n° EPA/600. United States Environmental Protection Agency. Washington (D.C.).
- Teal, J. M. *et al.* Pas de date de publication. *Waste Treatment in Wetlands Engineered for High Loading, a Septage Treatment Example*. Ecological Engineering Association. Marion (Maine).
- Tilton, D. L. *et al.* (éditeurs). 1976. Freshwater wetlands and sewage effluent disposal. *Dans Proceedings, Research Applied to National Needs Conference*, 10-11 mai 1976. National Science Foundation. Rapport n° PB 259305. Université de Michigan. Ann Arbor (Michigan).

United States Environmental Protection Agency. 1983a. *Freshwater Wetlands for Wastewater Management: Phase I Report*. Rapport n° EPA 904/9-83-107. Washington (D.C.).

United States Environmental Protection Agency. 1983b. *Effects of Wastewater Treatment Facilities on Wetlands in the Midwest*. Rapport n° EPA 905/3-83-002. Washington (D.C.).

United States Environmental Protection Agency. 1984. *Ecological Impacts of Wastewater on Wetlands: An Annotated Bibliography*. Rapport n° EPA 905/3-84-002. Washington (D.C.).

United States Environmental Protection Agency. 1985. *Freshwater Wetlands for Wastewater Management Handbook*. Rapport n° EPA 904/9-85-135. Washington (D.C.).

United States Environmental Protection Agency. 1987. *Report on the Use of Wetlands for Municipal Wastewater Treatment and Disposal*. Rapport n° EPA 430/09-88-005. Washington (D.C.).

United States Environmental Protection Agency. 1988. *Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. Rapport n° EPA 625/1-88-022. Cincinnati (Ohio).

United States Environmental Protection Agency. 1992. *Guidance: Specifying Management Measures for Sources of Nonpoint Pollution in Coastal Waters*. Office of Water. Washington (D.C.).

United States Environmental Protection Agency. 1993a. *Guidance for Design and Construction of a Subsurface Flow Constructed Wetland*. EPA Region 6, Water Management Division, Municipal Facilities Branch, Technical Section. Washington (D.C.).

United States Environmental Protection Agency. 1993b. *Handbook for Constructed Wetlands Receiving Acid Mine Drainage*. Rapport n° PB93-233914. Cincinnati (Ohio).

Vandas, S. 1992. *How Do We Treat Our Wastewater?* United States Geological Survey. Denver (Colorado).

Whitaker, G. et C. R. Terrell. 1993. Federal Programs for Wetland Restoration and Use of Wetlands for Nonpoint Source Pollution Control. Chapitre 11. *Dans Created and Natural Wetlands for Controlling Nonpoint Source Pollution*. R. K. Olsen, éditeur. CRC Press. Boca Raton (Floride).

Annexes

Aperçu des critères de conception

Lors de la conception d'une terre humide, il faut tenir compte de plusieurs facteurs, soit le type, la configuration et la superficie de la terre humide, les eaux d'alimentation, le sol et la végétation. Les méthodes et critères de conception s'améliorent sans cesse. Le concepteur d'une terre humide devrait consulter les documents de référence et faire examiner tous les plans de conception et d'exécution avant le début des travaux de construction. Les documents de référence relatifs à la conception d'une terre humide figurent dans la section «Autres ouvrages» du texte principal.

Type

Le choix du type de terre humide construite peut dépendre, entre autres, du potentiel d'utilisation de terres humides naturelles à des fins d'épuration, du traitement requis, des coûts prévus et de la superficie disponible. On ne s'entend pas sur les avantages qu'offre une terre humide à écoulement en surface par rapport à une terre humide à écoulement souterrain (Water Pollution Control Fédération 1990), mais ce dernier est préférable lorsque l'espace est limité ou que le prix du terrain est trop élevé.

Superficie

Comme il faut disposer d'un grand terrain pour aménager une terre humide, ce paramètre peut être déterminant sur le plan de la faisabilité, surtout dans les zones urbaines où les terrains sont rares et chers. Les critères de dimensionnement décrits ci-dessous devraient être utilisés au cours des étapes de la conception et de l'étude de l'avant-projet.

Les terres humides naturelles ou construites servaient à épurer les eaux usées domestiques, industrielles ou de source diffuse. Pour un type de terre humide donnée, la superficie requise pour satisfaire aux objectifs de conception variera en fonction de nombreux facteurs, notamment du volume et de la composition des effluents, de la qualité recherchée et de la charge hydraulique admissible.

La superficie totale est calculée d'après des données, publiées ou empiriques, sur la réduction de la charge polluante pour le paramètre considéré et pour le rendement d'épuration le plus faible. Les exigences en matière de superficie des terres humides pour atteindre les concentrations cibles de polluants dans le rejet sont précisées par la Water Pollution Control Federation (1990), Reed *et al.* (1988) et Kadlec et Knight (en préparation).

Terre humide naturelle d'épuration : Une charge hydraulique maximale de 1 à 2 cm/jour et une superficie minimale de 5 à 10 ha/1000 m³/jour sont recommandées par la Water Pollution Control Federation (1990).

Terre humide construite à écoulement en surface : Une charge hydraulique maximale de 2,5 à 5 cm/jour et une superficie minimale de 3 à 4 ha/1000 m³/jour sont recommandées par la Water Pollution Control Federation (1990).

Terre humide à écoulement souterrain : Une charge hydraulique maximale de 6 à 8 cm/jour et une superficie minimale de 1,2 à 1,7 ha/1000 m³/jour sont recommandées par la Water Pollution Control Federation (1990).

Terre humide destinée au traitement des eaux pluviales : Le ministère de l'Environnement de l'Ontario et la Metropolitan Toronto and Region Conservation Authority (1992) recommandent que la superficie des terres humides destinées au traitement des eaux pluviales soit égale à cinq pourcent de celle du bassin versant. Selon Schueler (1992), une superficie plus petite, soit un pourcent de la superficie de l'ensemble du bassin versant, est acceptable dans le cas d'une terre

Annexe A Méthodes de conception et d'aménagement des terres humides d'épuration

humide caractérisée par des zones d'eau profonde et un temps de rétention hydraulique assez long.

Terre humide destinée au traitement des eaux de mine acides : Les critères utilisés aux États-Unis pour calculer la superficie des terres humides d'épuration destinées à recevoir des eaux acides de mines sont résumés par Hedin et Nairn (1992).

Configuration

Les terres humides construites peuvent comprendre un ou plusieurs bassins parallèles ou successifs qui permettent de mieux répartir l'écoulement, de faciliter la croissance des communautés végétales et de procurer une plus grande souplesse d'exploitation (Water Pollution Control Federation 1990). L'existence de points de rejet multiples assure un mélange plus complet de l'effluent dans la terre humide (Water Pollution Control Federation 1990). Un rapport de la longueur à la largeur d'au moins 2:1, une pente progressive d'environ 0,05 et la présence de zones profondes orientées perpendiculairement à l'écoulement des eaux usées assurent une répartition uniforme de l'effluent dans la terre humide.

Approvisionnement en eau et gestion

La fiabilité, la qualité et la gestion de l'approvisionnement en eau sont importantes pour maintenir les périodes hydrologiques prévues, assurer la viabilité à long terme des terres humides et atteindre les critères de rendement liés à l'élimination des polluants dans les terres humides construites. La profondeur de l'eau, le temps de rétention hydraulique, la répartition des points de rejet et des ouvrages d'évacuation sont les principaux critères dont il faut tenir compte dans la conception d'une terre humide. Dans une terre humide construite utilisée pour le traitement des eaux usées, les effluents composent l'essentiel de l'écoulement; l'apport des précipitations est généralement saisonnier et moins important. De par leur conception, les terres humides destinées au traitement des eaux pluviales reçoivent surtout des eaux de ruis-

sellement. La très grande variabilité du volume et de l'occurrence de ces apports doit être soigneusement examinée au moment de la conception du système. On trouvera des exemples de calcul des paramètres hydrologiques d'une terre humide d'épuration dans Kadlec et Knight (en préparation), Water Pollution Control Federation (1990) et Schueler (1992).

Dans les terres humides peu profondes, les teneurs en oxygène dissous sont maintenues à des niveaux qui favorisent la nitrification. Si l'on veut obtenir un rendement optimal, la profondeur de l'eau doit être inférieure à 50 cm dans les terres humides à écoulement en surface (Water Pollution Control Federation 1990). Les terres humides à écoulement souterrain sont conçues de façon que le niveau de l'eau se situe sous la surface du sol. Dans les terres humides naturelles, la profondeur peut varier davantage que dans les terres humides à écoulement en surface, mais le rendement est optimal lorsqu'elle est inférieure à 50 cm. Un temps de rétention hydraulique minimal de 5 à 10 jours et d'environ 14 jours, respectivement, représentent des valeurs types pour les terres humides à écoulement en surface ou à écoulement souterrain et les terres humides naturelles.

Avant d'être rejetés dans une terre humide naturelle d'épuration, les effluents doivent faire l'objet d'au moins un traitement primaire dans une terre humide à écoulement en surface ou à écoulement souterrain (Water Pollution Control Federation 1990) et d'un traitement secondaire avec nitrification et réduction de la teneur en phosphore.

La charge maximale en DBO_5 recommandée est de 100 à 110 kg/ha/jour dans une terre humide à écoulement en surface, de 80 à 120 kg/ha/jour dans une terre humide à écoulement souterrain et de 4 kg/ha/jour dans une terre humide naturelle (Water Pollution Control Federation 1990). La charge maximale d'azote total recommandée est de 60 kg/ha/jour dans les deux premiers cas et de 3 kg/ha/jour dans le dernier cas.

Les ouvrages de distribution et de collecte devraient être faciles à entretenir, à exploiter et à remplacer. En outre, les conduites devraient être légèrement

surdimensionnées et des grilles à barreaux et d'autres types de barrière devraient être installées en amont pour intercepter les détritiques flottants et prévenir ainsi tout colmatage.

Sol

Le sol doit être propice à la croissance des plantes de terres humides et au régime hydrologique prévu. Dans une terre humide construite, elle devrait être constituée de terre arable provenant d'une terre haute ou humide dans le but de faciliter l'établissement d'une végétation palustre. L'addition de terre arable est une solution possible, mais elle n'est pas requise lorsque le sol exposé convient à la croissance de la végétation mise en place. Les bermes devraient être constituées de matériaux stables et protégées contre l'érosion.

Végétation

Les espèces végétales devraient être choisies en fonction de leur capacité de survivre dans un milieu pauvre en oxygène et sujet aux inondations. Elles devraient présenter les caractéristiques suivantes : résistance aux inondations prolongées, tolérance aux faibles teneurs en oxygène dans l'eau et le sol, croissance rapide et dense de manière à rafraîchir les eaux de surface et de prévenir la prolifération des algues. L'utilisation de plants provenant de la région environnante accroît les chances de survie de ceux-ci.

Dans les terres humides construites, les plants peuvent être espacés de 0,65 m à 1,0 m. Il est bon de favoriser la diversité végétale en utilisant, si possible, de la terre arable comme paillis et des plants de plusieurs espèces. Les terres humides construites à dense couvert des espèces végétales fournissent des conditions d'épuration idéales. Une grande diversité d'espèces de plantes multiplie les avantages.

La plantation de tiges en racine (boutures) est une des quelques méthodes d'établissement de terres humides et c'est la plus onéreuse. Le recrutement à partir de banques de graines sauvages et par semis à la volée sont des options moins chères mais qui ralentissent l'achèvement de l'installation.

Analyse de faisabilité et conception

On devrait procéder à une analyse détaillée de la faisabilité d'un projet de construction d'une terre humide d'épuration sur les plans technique, réglementaire et économique, avant de franchir les étapes de la conception définitive et de la construction du système. Il est important, pour le maître de l'ouvrage ou le promoteur, de comprendre que le traitement en terre humide est une technique qui n'a pas encore été complètement éprouvée et que le rendement ne peut être prévu avec une grande précision. Le concepteur doit également déterminer et prendre en considération les contraintes existantes et potentielles connues qui influent sur la construction et l'exploitation d'une terre humide, de façon à garantir de façon raisonnable que les objectifs du projet seront atteints. La section qui suit résume les principales étapes d'une analyse de faisabilité et les informations requises. On suppose que les buts et les objectifs du projet ont été clairement définis et acceptés par le maître de l'ouvrage ou le promoteur, le concepteur et les responsables de la réglementation, le cas échéant.

Critères de sélection du terrain

Le choix de l'emplacement approprié d'une terre humide devrait être fondé sur l'étude des divers terrains possibles et de l'aptitude de chacun à satisfaire aux exigences (critères) établies.

Les critères de sélection varient selon que la terre humide est construite pour remplacer ou rétablir des fonctions écologiques perdues ou pour améliorer les fonctions d'une terre humide existante ou qu'elle est construite ou mis en valeur pour remplir une nouvelle fonction écologique, comme dans le cas d'une terre d'épuration, construite ou naturelle. Les lignes directrices proposées ici concernent la sélection d'un terrain pour la construction d'une terre humide destinée à l'épuration des eaux.

Parmi les critères de sélection possibles, mentionnons les suivants :

- la proximité;
- la présence d'une zone contiguë de dimensions appropriées;
- la disponibilité d'une source d'eau durable;
- les caractéristiques hydrogéologiques;
- les contraintes géotechniques acceptables;
- une occupation restrictive existante ou potentielle des sols, la présence de terres humides naturelles, d'espèces protégées, de ressources historiques ou archéologiques sur le terrain ou à proximité;
- la facilité et le coût d'acquisition de droits de propriété, de servitude ou tout autre intérêt majeur;
- la facilité d'accès à des fins de construction et d'entretien;
- la possibilité d'obtenir les matériaux et la main-d'oeuvre nécessaires aux travaux de construction.

Proximité : Ce critère varie selon le type de terre humide à construire. Une terre humide destinée à l'épuration des eaux pluviales devra peut-être être située à une bonne altitude topographique de manière à favoriser l'écoulement par gravité. Par ailleurs, une terre humide naturelle ou construite destinée à l'épuration des eaux devra peut-être être aménagée à l'emplacement même de la source de pollution ou à proximité, de façon à réduire les coûts d'achat du terrain et les frais de pompage et à limiter l'accès par le public.

Superficie : La superficie totale requise varie en fonction des objectifs visés; de façon générale toutefois, on doit disposer d'un terrain contigu de dimensions appropriées pour que la terre humide puisse être aménagée à un seul endroit, de manière à réduire les coûts de construction, d'exploitation et d'entretien. À l'étape la sélection du terrain, on peut procéder à des estimations préliminaires, comme il est décrit à la rubrique «Étude de conception».

Approvisionnement en eaux usées : La viabilité d'une terre humide construite dépend d'un approvisionnement continu en eaux usées.

Hydrogéologie : Le terrain choisi doit posséder des caractéristiques hydrogéologiques favorables à la construction d'une terre humide. Si le sol est trop bien drainé, il faudra peut-être recouvrir le sol d'une membrane semi-perméable faite d'argile ou d'un autre matériau à faible conductivité hydraulique. Un sol peu profond au-dessus de l'assise rocheuse peut également rendre difficiles les travaux d'excavation.

Contraintes géotechniques : Les matériaux qui composent les bermes et le substrat doivent convenir à la construction d'une terre humide; ils doivent être peu érodables, retenir les sédiments et supporter les conditions d'exploitation extrêmes prévues.

Occupations restrictives des sols et autres contraintes liées à l'emplacement : Le mode d'occupation des sols peut influencer sur la construction d'une terre humide. En effet, on doit s'assurer que l'aménagement de la terre humide respecte le plan de zonage et est compatible avec les autres utilisations du sol. La présence de terres humides naturelles, d'habitats fréquentés par des espèces protégées ou de ressources historiques ou archéologiques sur un terrain ou à proximité de ce dernier peut imposer des contraintes supplémentaires au moment de la conception.

Propriété et coût du terrain : Lorsque le terrain n'appartient pas au maître d'ouvrage, il faut évaluer dans quelle mesure on peut acquérir les droits de propriété, une servitude ou tout autre intérêt prédominant. Comme une terre humide d'épuration exige une grande superficie, le coût du terrain influera considérablement sur le coût total du projet.

Accès : L'accès (existant et potentiel) au terrain doit être évalué aux fins de la construction et de l'entretien futur du système. Il faut consulter les règlements locaux en matière d'occupation des sols pour vérifier s'il existe des restrictions touchant la circulation des véhicules utilisés pour la construction et l'entretien.

Matériaux : Il faut évaluer si les sources locales de main-d'œuvre et de matériaux sont suffisantes de manière à limiter le plus possible les coûts du projet et à obtenir des matériaux de bonne qualité. Il faut également vérifier s'il y a des entrepreneurs compétents, des pépinières et de bons matériaux pour la construction d'une terre humide.

Le formulaire présenté dans le tableau A.1 sert à décrire les caractéristiques de la terre humide proposée et à vérifier dans quelle mesure le terrain se prête au traitement des eaux usées en terre humide, construite ou naturelle.

Collecte de données

On doit recueillir suffisamment de données sur chacun des terrains proposés afin de pouvoir répondre aux critères de sélection et d'évaluer les chances de réussite relatives à l'obtention des permis, à la construction et à l'exploitation.

Les données qui fournissent des informations utiles pour la sélection du terrain, la conception de la terre humide et la construction de cette dernière couvrent les domaines suivants :

- Géographie
 - Emplacement
 - Température
 - Relief
 - Couvert végétal
 - Occupation des sols, zonage, propriété
 - Utilisation des terrains adjacents, zonage, propriété
- Géologie
 - Aquifères
 - Aquitards
 - Sols

- Hydrologie
 - Précipitations
 - Bassin versant et écoulement de surface
 - Eaux de surface
 - Conductivité hydraulique du sol
 - Évaporation
- Qualité de l'eau
 - Paramètres physico-chimiques
 - Paramètres biologiques
- Terres humides
 - Répartition et autorité compétente
 - Type, fonction et qualité
- Faune
 - Type et fonction de l'habitat
 - Espèces protégées par les gouvernements fédéral et provinciaux
- Lieux historiques et archéologiques

Sélection du terrain

Le choix du terrain approprié doit reposer sur la capacité de la terre humide de satisfaire aux objectifs de conception visés et ce, dans une optique de rentabilité. Les coûts à considérer comprennent les frais d'exploitation et d'entretien à long terme, le coût du terrain et les coûts de construction.

Dans le cas de l'aménagement d'une terre humide construite, le processus de sélection doit mettre l'accent sur la recherche et le choix de l'emplacement qui favorisera le plus la réalisation des objectifs d'amélioration de la qualité de l'eau et ce, au plus bas coût de construction initiale, d'exploitation et d'entretien à long terme. Dans le cas d'un système aménagé dans une terre humide naturelle, le choix du terrain dépend dans une large mesure du type de terres humides déjà existantes et de leur emplacement.

Tableau A.1 Description d'une terre humide d'épuration proposée

Fiche technique sur l'emplacement potentiel d'une terre humide d'épuration	
Nom du lieu :	_____
Pays :	_____
Province ou territoire :	_____
Ville/collectivité :	_____ <i>Population</i> : _____
Type d'eaux usées : (décrire)	<i>Urbaines</i> : _____ <i>Industrielles</i> : _____ <i>Autres</i> : _____
Autres utilisations projetées de la terre humide :	<i>étude de la nature</i> _____ <i>chasse</i> _____ <i>aquaculture</i> _____ <i>autres</i> (décrire) _____
Prétraitement des eaux usées :	_____
Eaux pluviales :	<i>Superficie du bassin versant</i> : _____ <i>Unités</i> : _____ <i>% de surfaces imperméables (toits, stationnements, etc.)</i> : _____
Débit nominal :	_____ <i>Unités</i> : _____
Composition du substrat (p. ex. sable, argile, terre tourbeuse, etc.) :	_____
Perméabilité :	_____
Type de couverture végétale :	_____
Superficie disponible :	_____ <i>Unités</i> : _____
Proximité d'une source d'eau/eaux usées :	_____
Utilisation du terrain :	<i>Zonage</i> : _____ <i>Propriétaire</i> : _____
Utilisation des terres adjacentes :	<i>Zonage</i> : _____ <i>Propriétaire</i> : _____
Présence de :	<i>Utilisation restrictive existante ou potentielle</i> : _____ <i>Terres humides naturelles</i> : _____ <i>Espèces protégées</i> : _____ <i>Biens historiques ou archéologiques sur le terrain</i> <i>ou à proximité</i> : _____ <i>Aquifères</i> : _____ <i>Aquitards</i> : _____
Relief du terrain :	_____

Tableau A.1 (suite)

Données de surveillance du rejet d'une station d'épuration d'eaux usées et d'eaux pluviales

Période d'exploitation (mois) : _____

Période d'enregistrement : Début (année) _____ Fin (année) _____

Années d'activité : _____

Débit moyen : _____ Unités : _____

DBO₅ (mg/L) : _____

MST5 (mg/L) : _____

Matières totales dissoutes (mg/L) : _____

Turbidité : _____ Unités : _____

NH₃-N (mg/L) : _____

NO₃-N+NO₂-N (mg/L) : _____

Azote total (mg/L) : _____

Azote total Kjeldahl (mg/L) : _____

Azote organique (mg/L) : _____

P. total (mg/L) : _____

P. filtré (mg/L) : _____

Oxygène dissous (mg/L) : _____

Potentiel redox : _____ Unités : _____

Sulfates/sulfures (mg/L) : _____

Conductivité : _____ Unités : _____

Alcalinité (mg/L) : _____

pH : _____

Température (°C) : _____

Chlorures (mg/L) : _____

Métaux (liste) : _____ Unités : _____

_____ Unités : _____

_____ Unités : _____

Pesticides/herbicides : _____ Unités : _____

Matières organiques (liste) : _____ Unités : _____

_____ Unités : _____

_____ Unités : _____

Coliformes fécaux (col/100 ml) : _____

E. coli (col/100 ml) : _____

(D'autres paramètres peuvent être ajoutés dans la partie Remarques)

Limites relatives au débit sortant de la terre humide fixées par le permis (une copie du permis serait satisfaisante)

Oxygène dissous (mg/L) : _____

pH : _____

DBO₅ (mg/L) : _____

MST5 (mg/L) : _____

NH₃-N (mg/L) : _____

Azote total (mg/L) : _____

P total (mg/L) : _____

Coliformes fécaux (col/100 ml) : _____

Débit autorisé (par jour, semaine, mois, année) : _____

Durée du permis : *annuel* _____ *saisonnier* _____ *mensuel* _____ *autre* (décrire) _____

Permis délivré par : _____

Tableau A.1. (suite)

Détails sur l'informateur

Nom de famille : _____
Prénom : _____
Fonction : *Opérateur* _____ *Ing. de conception/études* _____ *Recherche et dév.* _____ *Surveillance du rendement* _____
Entreprise ou organisme : _____
Adresse : _____

N° de téléphone : _____
N° de télécopieur : _____

Facteurs climatiques

Nombre moyen de jours sans gel : _____
Temp. annuelle moyenne : _____ *Unités* : _____
Temp. moyenne en hiver : _____ *Unités* : _____
Chûtes de neige annuelles : _____ *Unités* : _____
Pluies annuelles : _____ *Unités* : _____
Précipitations annuelles : _____ *Unités* : _____
Altitude : _____ *Unités* : _____

Remarques

Étude de définition

Il est important de préciser qu'une bonne étude de définition est une démarche progressive qui exige la participation de biologistes, d'ingénieurs, d'entrepreneurs en construction, de responsables de la réglementation en matière de ressources et du maître d'ouvrage ou du promoteur. L'étude de définition doit être menée parallèlement au processus de sélection du terrain et être fondée sur les informations existantes, de manière que le choix du terrain soit le plus pertinent possible. Parmi les éléments clés de l'étude de définition, mentionnons la détermination de la superficie approximative de la terre humide, les paramètres hydrologiques, le potentiel de réalisation des objectifs de rendement ainsi que les coûts du terrain et de construction. Ces éléments sont examinés ci-après pour chaque type de terre humide, avec mention des informations disponibles pour chaque terrain.

Superficie

À l'étape de l'étude de définition, la superficie requise d'une terre humide d'épuration (construite ou naturelle) doit être calculée de façon prudente, en fonction de la charge hydraulique, de la charge polluante, et des objectifs de rendement établis d'après les critères de conception qui ont été publiés ou déterminés par voie expérimentale, comme il est décrit dans la section intitulée «Établissement des systèmes de terres humides d'épuration construites.»

Les informations nécessaires à la détermination de la superficie à l'étape de l'étude de définition comprennent la qualité et le débit moyens des eaux d'entrée, la qualité et le débit projetés des eaux de sortie ainsi que la qualité de l'eau et la capacité hydraulique du milieu récepteur. Des bilans plus détaillés de la charge polluante sont requis à l'étape de l'étude de l'avant-projet, afin que l'on puisse déterminer le polluant dont l'élimination exigera la plus grande superficie de terre humide pour atteindre les objectifs de qualité de l'eau visés.

Hydrologie

Il faut accorder une attention particulière à l'hydrologie du système de traitement par les terres humides. Avec ce genre de technologie, il est important de respecter les contraintes réglementaires sans surdévelopper l'installation; il faut donc considérer soigneusement tant les effets saisonniers d'évapotranspiration et de précipitation que les fluctuations saisonnières du débit. Les bilans hydriques des systèmes de traitement des eaux usées par les terres humides sont déterminants quand la perméabilité potentielle du sol est assez importante pour que l'infiltration constitue une sortie hydrologique importante de la terre humide ou un risque pour les eaux souterraines. Une charge hydraulique constante et réglable constitue un des principaux critères hydrologiques lors de la conception de systèmes dans une terre humide construite à des fins de traitement des eaux usées. Les systèmes de traitement par les terres humides par les eaux de pluies sont sujets à des charges hydrauliques moins contrôlables et moins fiables.

Objectifs de rendement de la terre humide

La plupart des systèmes implantés dans des terres humides naturelles ou construites sont conçus de manière à éliminer la plus grande quantité possible d'un élément nutritif donné ou d'un groupe de contaminants. Des objectifs de rendement sous forme de taux d'élimination de la charge polluante devront être fixés au début de l'étude de définition pour que l'on puisse déterminer la superficie et la configuration de la terre humide.

Estimation des coûts

À l'étape de l'étude de définition, l'estimation des coûts doit reposer sur les évaluations foncières locales (s'il y a lieu) pour ce qui est du terrain, sur les volumes approximatifs de déblais et de remblais pour ce qui est du terrassement, sur le produit du coût moyen d'un plant dans les pépinières locales par la superficie totale estimative de la terre humide pour ce qui est des travaux de plantation et devrait inclure le coût des ponceaux et des conduites ainsi que les coûts d'exploitation et d'entretien à long terme.

Observation des règlements et obtention des permis

Observation des règlements

Détermination de la compétence réglementaire : Il est recommandé de dresser une liste des organismes de réglementation et de leurs champs de compétence respectifs et de préciser les exigences en matière d'information ainsi que les contraintes particulières relatives à la conception de l'ouvrage.

Rencontres : Il est recommandé de rencontrer des agents des organismes de réglementation avant de présenter une demande de permis, afin de vérifier leurs champs de compétence et de s'enquérir des exigences en matière d'information se rattachant aux permis. On devrait demander une confirmation écrite des sujets traités et des conclusions dégagées au cours de chacune des rencontres.

Analyse des éléments inacceptables : Il faut vérifier s'il existe des restrictions réglementaires relatives à la conception ou à la construction de la terre humide, dans le cadre de rencontres avec les représentants des organismes de réglementation et d'une analyse critique de l'étude de définition.

Exigences relatives aux permis

Avant de procéder à l'étude de l'avant-projet, il convient d'examiner en détail les contraintes et les exigences des administrations provinciales, territoriales et municipales en ce qui concerne la construction d'une terre humide.

Étude de l'avant-projet

Essentiellement, l'étude de l'avant-projet est une présentation beaucoup plus détaillée de l'étude de définition, conformément aux directives contenues dans ouvrages exhaustifs publiés, par exemple, par le Soil Conservation Service (1992) et la Water Pollution Control Federation (1990); une attention particulière sera accordée aux modalités d'exploitation dans les régions froides, s'il y a lieu. Les travaux de terrassement, les caractéristiques hydrauliques, la

penne, la profondeur et les contraintes liées au terrain doivent être précisés dans le dossier du projet. Il faut soigner les détails concernant les ouvrages hydrauliques et la simplification des exigences en matière d'exploitation et d'entretien. Avant de mettre au point l'étude de l'avant-projet, il convient également de demander aux organismes de réglementation de vérifier les détails de conception préliminaire. Enfin, tous les documents produits doivent être examinés par un comité supérieur.

Gestion et surveillance des travaux de construction

Plans et cahiers des charges

Les plans et cahiers des charges doivent être suffisamment détaillés aux fins de la préparation d'appels d'offres, de l'examen technique et biologique et de vérification des conditions « conformes à l'exécution » (Garbisch 1990).

Généralités : Les plans de construction d'une terre humide doivent comprendre une table des matières, une carte détaillée de l'emplacement, une carte-index et un tableau des quantités. Le nord magnétique, l'échelle, la date d'établissement, le nom des personnes qui en ont examiné le contenu et les dates de révision devraient être indiqués sur chaque feuillet.

Photographies aériennes : Si possible, les plans doivent inclure des photographies aériennes récentes, prises de manière que les limites du chantier prévu figurent au complet sur une ou plusieurs images. L'emplacement des principaux points de repère, plans d'eau et réseaux hydrographiques, des terres humides et des autres aires protégées ou d'accès restreint (qui abritent des espèces menacées ou en danger de disparition) doit être indiqué. On peut utiliser des photographies aériennes à plus grande échelle pour dresser le plan détaillé, si elles ne nuisent pas à l'interprétation.

Échelle : Une échelle d'au moins 1 cm = 10 m est recommandée (Garbisch 1990).

Relief : Les plans d'exécution doivent être superposés à une carte topographique du site. Une équidistance minimale de 0,25 m est recommandée pour les courbes de niveau. L'emplacement et l'altitude des points de repère doivent être clairement indiqués (Garbisch 1990).

Coupes transversales : Des coupes transversales types des ouvrages de terrassement doivent être établies et indiquer clairement tous les niveaux, pentes et dimensions prévus. Il faut inclure autant de coupes qu'il faut pour représenter les conditions normales et les conditions anormales.

Informations géotechniques : L'emplacement des puits d'exploration et d'excavation doit être indiqué sur le plan afin que l'on puisse les repérer au besoin. Des schémas du profil pédologique doivent également être inclus dans les plans; ils doivent contenir des informations sur les niveaux du profil de saturation et sur les niveaux de l'eau observés.

Limites des terres humides : Les terres humides doivent être bien délimitées sur la carte topographique; leurs limites doivent être déterminées avec les organismes de réglementation, au besoin.

Hydrologie : Sur les plans, il faut indiquer les niveaux de l'eau existants et prévus ainsi que les plans d'eau adjacents, de façon à ce que l'on puisse déterminer les principaux régimes d'écoulement des eaux de surface sur le chantier de construction. Il faut établir toutes les cotes par rapport au niveau de référence géodésique normalisé; sinon, on doit fournir un système de conversion. Les données hydrologiques doivent inclure les pointes saisonnières et les niveaux moyens de l'eau, qui sont établis en fonction des plantes indicatrices, des indicateurs pédologiques ou des données de surveillance pour les terres humides existantes, le cas échéant, ainsi que pour les hautes terres adjacentes. Il faut recueillir suffisamment d'informations pour pouvoir déterminer les niveaux saisonniers des eaux réceptrices. Au besoin et si possible, il faut prévoir l'application de mesures adaptées à chaque site en vue du détournement provisoire des eaux vers la terre humide et de la construction d'ouvrages, provisoires ou

permanents, qui permettront d'inonder le secteur.

Spécifications relatives aux plantations : Les secteurs ou les superficies à planter doivent être indiqués sur les plans d'exécution. Il faut dresser une liste des espèces végétales qui seront mises en place dans chacune des terres humides, en précisant les quantités, les plages d'altitude et les conditions acceptables. Les exigences ou facteurs particuliers dont il faut tenir compte doivent être mentionnés et décrits de façon assez détaillée. Ces éléments comprennent les spécifications relatives aux engrais, le traitement de préplantation, les contraintes géographiques quant à la provenance des plants ainsi que les exigences en matière de rendement et d'irrigation (Garbisch 1990). Les plants doivent être suffisamment rapprochés de manière à assurer une croissance rapide de la couverture végétale. Il faut utiliser uniquement des plants qui poussent dans la région de terres humides considérée.

Maîtrise de la végétation : Les plans d'exécution doivent prévoir des moyens de lutte contre les espèces exotiques ou nuisibles dans la terre humide, pendant et après les travaux de construction. Des précisions doivent être fournies quant au choix des méthodes à utiliser. Il faudra peut-être limiter la consommation des plantes par les animaux, une mesure qui doit être prévue à l'étape de la construction puis de la surveillance. Dans le cas de terres humides construites, il faut s'assurer d'irriguer le sol pendant la durée des travaux de construction, soit en utilisant les sources d'eau existantes, soit les effluents.

Occupation des sols : L'emplacement des zones d'accès restreint, des ouvrages, des lignes des services publics ou de tout autre équipement à l'intérieur ou à proximité du chantier doit être indiqué. Les restrictions particulières touchant les travaux de construction ou les exigences en matière de coordination applicables aux entrepreneurs doivent également être précisées.

Lutte contre l'érosion et le transport des sédiments : Les plans d'exécution doivent préciser les endroits où seront appliqués des mesures appropriées de lutte contre le transport des sédiments. Divers moyens peuvent être utilisés à cette fin : meules de foin, membrane géotextile pour retenir le limon, motte de gazon, semis. Ces matériaux devraient être placés à la périphérie du chantier ainsi qu'à l'intérieur de la terre humide, de manière à réduire au minimum la sédimentation et l'érosion des bermes ou des limites de la terre humide.

Plan de nivellement : Un plan de nivellement doit indiquer l'emplacement, la hauteur et les dimensions des ouvrages de terrassement. Il doit fournir suffisamment d'informations sur les rayons, les points d'inflexion et les décalages par rapport au niveau de référence pour permettre à l'entrepreneur de bien délimiter et construire la terre humide. Il doit également spécifier les exigences concernant le type de terre requis, les lieux d'emprunt, les sites d'élimination ainsi que le transport de la terre. Les spécifications relatives à l'inclinaison doivent préciser les pentes admissibles dans la terre humide. Elles doivent être strictement observées dans le cas des terres humides construites.

Préparation du terrain : Les plans d'exécution doivent prévoir l'enlèvement d'une couche végétale de 0,5 m sur le terrain visé par le projet et l'empilement du matériau ainsi enlevé, que l'on pourra utiliser pour recouvrir la surface et constituer une banque de semis ou un milieu de propagation.

Critères de sélection de l'entrepreneur en construction

Les critères de sélection de l'entrepreneur en construction doivent comprendre les exigences minimales suivantes. L'entrepreneur devra être en mesure de prouver qu'il a déjà construit avec succès des terres humides. Son personnel devra compter une personne ayant une bonne formation en création ou en remise en état d'une terre humide ainsi qu'une expérience pratique

de la construction d'une terre humide. L'entrepreneur ou son assureur devra être en mesure de fournir une garantie de bonne exécution égale au coût total des travaux de construction, de plantation et, pour une période déterminée, d'entretien et de surveillance.

Gestion des travaux de construction

L'entrepreneur devra consentir à rencontrer régulièrement le maître d'ouvrage ou son représentant pendant la durée des travaux pour discuter de l'état d'avancement du projet, examiner les problèmes rencontrés et déterminer des solutions. Tout au long des travaux, il devra fournir des rapports d'activité selon le calendrier établi.

Entretien durant les travaux de construction

Pendant les travaux de terrassement et de plantation, il faudra maîtriser les essences végétales nuisibles et exotiques et prévenir toute accumulation de déchets ou de débris. La première année, il faudra aussi irriguer ou arroser la végétation de la terre humide durant la saison sèche initiale si le niveau de l'eau n'atteint pas la hauteur prévue. Enfin, les ouvrages de régulation des eaux et les ponceaux devront toujours être exempts de débris et de terre, et réparés au besoin.

Dessins définitifs et rapport sur l'ouvrage fini

Des dessins conformes à l'exécution devront être réalisés et approuvés par le terrassier ou le maître d'œuvre avant la mise en place du matériel de plantation, puis soumis à l'approbation et à l'acceptation de l'ingénieur de projet. À la fin des travaux de construction, il faudra présenter des dessins conformes à l'exécution afin de vérifier la hauteur, la profondeur de l'eau ainsi que l'altitude et la superficie des zones plantées. Ces dessins devront être soumis en même temps qu'un rapport sur l'ouvrage fini, rédigé au terme des travaux; ce rapport décrira les principales communautés végétales de la terre humide, leur densité et leur composition ainsi que des photographies prises en suffisamment d'endroits pour couvrir tout le projet (Erwin 1991).

Les originaux sur mylar ou tout autre support devront être annotés et les épreuves, approuvées par un arpenteur agréé. Tout écart par rapport à l'étude de conception et la raison de cet écart devront être indiquées sur les plans.

Surveillance après la construction

Dans le sud du Canada, on estime qu'il faudra environ deux ans pour obtenir des couvertures végétale et détritique complètes. Au cours de cette période, il est vital que le concepteur de la terre humide continue de participer aux travaux de surveillance et contribue ainsi à évaluer les progrès accomplis.

Le projet d'exécution et les documents relatifs aux permis devront comporter une description détaillée des travaux de surveillance nécessaires après la période de construction aux fins de déterminer dans quelle mesure les objectifs visés ont été atteints. Les méthodes d'échantillonnage, la fréquence des prélèvements et l'emplacement des stations de surveillance devront être précisés de façon que des personnes qualifiées mais non familières avec le projet puissent exercer une surveillance. Les plans de surveillance devront décrire les méthodes de collecte des données sur le niveau de l'eau, la couverture végétale et la diversité des espèces végétales ainsi que les buts de cette activité. Enfin, les travaux de surveillance comprendront la prise de photographies de la terre humide en des points fixes.

Options de surveillance

Les autres données qui pourraient être recueillies seront fonction de la vocation de la terre humide. On peut effectuer périodiquement des relevés biologiques des communautés de vertébrés et d'invertébrés afin de recueillir des données sur l'habitat faunique et sur la productivité écologique de la terre humide. On peut procéder à des échantillonnages qualitatifs de l'eau afin de recueillir des données sur l'assimilation des polluants, la production et la perte de matières organiques ainsi que la rétention

des sédiments. On peut également réunir des données sur la prévention des crues et la réalimentation de la nappe souterraine en creusant des puits d'observation et en installant des limnigraphes et des pluviographes. Il est recommandé d'obtenir le soutien scientifique de biologistes, d'hydrologues, d'hydrogéologues et d'ingénieurs avant de procéder à la conception et à la mise en oeuvre d'un programme de surveillance.

Critères de rendement

On déterminera le rendement de la terre humide construite en comparant régulièrement les conditions observées à des critères donnés, lesquels seront fonction des objectifs visés. Par exemple, les critères à une terre humide d'épuration pourraient comprendre des concentrations cibles de certains paramètres dans l'effluent et le taux d'élimination prévu des polluants ainsi que d'autres indices de l'état de la terre humide, telle la proportion de la couverture végétale composée d'espèces plantées et d'espèces spontanées.

Entretien de la terre humide

Il faudra appliquer des mesures correctives si la surveillance révèle que les critères de rendement ne sont pas satisfaits ou si d'autres indices montrent que la terre humide ne n'est pas aussi efficace qu'on l'avait prévu. Par exemple, une inondation peut avoir des effets plus graves ou moins graves que ceux projetés. Le débit, le temps de rétention, le rendement d'épuration et le respect des normes de rejet applicables aux terres humides peuvent être affectés. La végétation palustre peut en subir des contrecoups. Parmi les solutions possibles, on peut modifier les éléments suivants : le volume et la qualité des effluents ou le moment de leur rejet, la hauteur du radier des ouvrages de régularisation des eaux, la pente de la terre humide et les espèces végétales qui sont plantées. Les mesures correctives devraient être adoptées en collaboration avec les organismes qui délivrent les permis.

La fiche de calcul vise à fournir une estimation grossière de la superficie d'eau libre (écoulement en surface) requise dans une terre humide construite, ce qui exclut la superficie occupée par les bermes. Elle se veut un outil utile pour déterminer si le terrain a les dimensions voulues pour absorber un débit donné d'eaux usées ou d'eaux pluviales. L'étude de l'avant-projet devrait être effectuée par un spécialiste des terres humides, de façon que l'ouvrage satisfasse au critère de rendement optimal.

Eaux usées

Charge hydraulique (débit)

Débit nominal (Q) = _____ m³/jour

Superficie nominale requise = 3,5 ha/1000 m³/jour

Superficie terrestre approximative requise =

3,5 ha/1000 m³/jour x _____ m³/jour (Q)

= _____ ha de terre humide

(surface occupée par les bermes non comprise)

Charge en éléments nutritifs

	PT	NT	MSTS/DBO
Concentration de l'effluent à l'entrée, en mg/L; Ci =	_____	_____	_____
Concentration limite inférieure dans la terre humide, en mg/L; Cl =	0,05	2,00	5,00
Concentration prévue à la sortie, en mg/L; Ce =	_____	_____	_____
Fraction restante ou fraction limitée; F = (la plus grande de F = Ce/Ci ou F = Cl/Ci)	_____	_____	_____
Constante de vitesse; en m/an; k =	10	15	35
Superficie requise de la terre humide; ha; A = où A = (0,0365xQ/k)xln(1/F)	_____	_____	_____

La superficie estimative de la terre humide ayant la plus grande valeur d'après la charge hydraulique et la charge en éléments nutritifs devrait servir à évaluer les possibilités d'incorporer la technique de la terre humide à une installation d'épuration des eaux usées.

Eaux pluviales

Superficie du bassin versant (A) = _____ ha

(A) _____ ha x 0,05 = _____ ha (terre humide)

Le tableau A.1 contient des informations essentielles qui permettra au consultant d'estimer plus précisément la superficie de terrain requise et de déterminer d'autres facteurs, y compris la possibilité d'un prétraitement plus poussé et la nécessité d'installer une membrane.

Annexe B

Estimation de la superficie requise d'une terre humide d'épuration des eaux usées

Symboles et abréviations

- m³ = mètre cube
- mg/L = milligramme par litre
- PT = phosphore total
- NT = azote total
- MSTS = matières solides totales en suspension
- DBO = demande biochimique en oxygène

Base de données sur les terres humides d'épuration des eaux usées et des eaux pluviales au Canada

Publications

Oui Non Prière d'indiquer s'il existe une publication ou un article sur la terre humide.

Oui Non Prière d'indiquer si vous allez envoyer un exemplaire de la publication ou une copie de l'article (sinon, indiquez la référence ci-dessous).

Auteur : _____

Affiliation : _____

Titre : _____

Publication/revue : _____

Année : _____

Fiche technique de terrain envisagé pour l'aménagement d'une terre humide

Nom du lieu : _____

Nom de l'installation : _____

Pays : _____

Province ou territoire : _____

Ville/collectivité : _____ Population : _____

Type d'eaux usées : *Urbaines* : _____
(décrire) *Industrielles* : _____

Autres : _____

Autres utilisations de la terre humide : *étude de la nature* _____ *chasse* _____ *aquaculture* _____
autres (décrire) _____

Prétraitement des eaux usées : _____

Eaux pluviales : *Superficie du bassin versant* : _____ *Unités* : _____
% de surfaces imperméables (toits, stationnements, etc.) : _____

Hydrologie de la terre humide : *Eau de surface libre* *Lit de végétaux submergés* *Hybride* *Autres* (décrire) _____ *Inconnu*

Stade de la terre humide : *Projet définitif* *Étude pilote* *Grandeur réelle*

Nature du système : *construit* *naturel* *autre* (décrire) _____

Superficie du système : _____ *Unités* : _____

Débit nominal : _____ *Unités* : _____

Nombre de bassins : _____

Superficie des bassins : _____ *Unités* : _____

Végétation des bassins : *Marais* *Forêt*
 Arbustes *Plantes aquatiques flottantes*
 Eau libre *Hybride*
 Autre (décrire) _____
 Inconnue

Espèce végétale dominante : _____

Longueur des bassins : _____ *Unités* : _____

Largeur des bassins : _____ *Unités* : _____

Profondeur moyenne des bassins : _____ *Range* : _____ *Unités* : _____

Pente du lit des bassins (%) : _____

Matériau du fond (p. ex. sable, argile, terre tourbeuse, argile sableuse, etc.) : _____

Coûts d'investissement : _____

Frais annuels d'exploitation et d'entretien : _____

Annexe C
Base de données
sur les terres
humides
d'épuration
des eaux usées
et des eaux
pluviales au
Canada

Base de données sur les terres humides d'épuration des eaux usées et des eaux pluviales au Canada (suite)

Données de surveillance de la terre humide

Période d'exploitation (mois) : _____

Période de collecte des données : Début (année) _____ Fin (année) _____

Années en exploitation : _____

Débit moyen : Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

DBO₅ (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

MST5 (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

MTD (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

Turbidité : Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

NH₃-N (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

NO₃-N+NO₂-N (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

Azote total (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

Azote total Kjeldahl (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

Azote organique (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

P total (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

P filtré (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

Oxygène dissous (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

Potentiel redox : Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

Sulfates/Sulfures (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

Conductivité : Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

Alcalinité (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

pH : Entrée : _____ Sortie : _____

Température (°C) : Entrée : _____ Sortie : _____

Chlorure (mg/L) : Entrée : _____ Sortie : _____

Métaux (liste) : Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

Pesticides/herbicides : Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

Matières organiques (liste) : Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

Entrée : _____ Sortie : _____ Unités : _____

Coliformes fécaux (col/100 ml) : Entrée : _____ Sortie : _____

E. coli (col/100 ml) : Entrée : _____ Sortie : _____

(D'autres paramètres peuvent être ajoutés dans la partie-Remarques)

65

Limites relatives au débit sortant de la terre humide fixées par le permis (une copie du permis sera satisfaisante)

Oxygène dissous (mg/L) : _____

pH : _____

DBO₅ (mg/L) : _____

MST5 (mg/L) : _____

NH₃-N (mg/L) : _____

Azote total (mg/L) : _____

P total (mg/L) : _____

Coliformes fécaux (col/100 ml) : _____

Débit autorisé (par jour, semaine, mois, année) : _____

Durée du permis : annuel saisonnier mensuel autre (décrire)

Permis délivré par : _____

Base de données sur les terres humides d'épuration des eaux usées et des eaux pluviales au Canada (suite)

Détails sur l'informateur

Nom de famille : _____
Prénom : _____
Fonction : Opérateur _____ Ing. de conception/études _____ Recherche et dev. _____
Surveillance du rendement
Entreprise ou organisme : _____
Adresse : _____
N° de téléphone : _____
N° de télécopieur : _____

Facteurs climatiques

Nombre moyen de jours sans gel : _____
Temp. annuelle moyenne : _____ Unités : _____
Temp. moyenne en hiver : _____ Unités : _____
Chutes de neige annuelles : _____ Unités : _____
Pluies annuelles : _____ Unités : _____
Précipitations annuelles : _____ Unités : _____
Élévation : _____ Unités : _____

Autres – Prière de fournir les documents suivants :

1. Une carte indiquant l'emplacement de la terre humide par rapport à la ville la plus proche.
2. Des copies de photographies (négatifs compris) et/ou de diapositives de la terre humide en construction et/ou en opération, qui pourraient être utilisées dans des publications ou présentations futures. Précisez le nom de l'auteur des photographies.

Ce matériel ne vous sera pas retourné; n'envoyez donc les originaux.

Remarques

