

## 5. MARAIS ARTIFICIELS

**Avis : Compte tenu du caractère envahissant du roseau commun exotique (*Phragmites australis*), le Ministère n'autorise plus de nouveaux systèmes de marais artificiels utilisant cette plante. Seuls les marais artificiels utilisant des plantes non envahissantes peuvent être implantés au Québec. Les roseaux communs exotiques présents dans les marais artificiels déjà existants n'ont pas à être remplacés, mais tout agrandissement d'un marais artificiel existant doit être effectué avec des plantes non envahissantes.**

Les marais artificiels utilisés pour le traitement des eaux usées domestiques sont constitués d'un lit de sol ou d'un autre milieu, tel que du gravier ou du sable, qui est inondé ou maintenu en condition saturée (niveau d'eau près de la surface), l'environnement étant ainsi propice à l'établissement de plantes adaptées aux conditions de sol saturé et produisant un important réseau de racines dans le milieu. Le traitement des eaux usées s'effectue au moyen d'une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques, incluant la sédimentation, la précipitation, l'adsorption sur les particules de sol, l'assimilation par les plantes et les transformations microbiologiques.

La technologie du traitement des eaux usées par marais artificiels a commencé à prendre de l'ampleur à partir des travaux du D<sup>r</sup> Seidel dans les années 1950-1960. Un système à étages multiples, intitulé *Max-Plank-Institute-Process* ou *Krefeld System*, composé de deux premiers étages à écoulement vertical suivi d'étages à écoulement horizontal a alors été proposé. Le traitement des eaux usées par marais artificiels, qui peut prendre différentes formes selon le mode d'écoulement, les types de plantes, le milieu et autres, s'est par la suite répandu en Europe. En Amérique du Nord, cette technologie s'est répandue surtout depuis le milieu des années 1980.

Il y aurait plus de 500 installations de traitement d'eaux usées par marais en Europe et plus de 600 en Amérique du Nord (Cole, 1998). En plus des systèmes inventoriés, on mentionnait en 1995 (Reed *et al.*, 1995) qu'il pourrait y avoir jusqu'à 500 petits systèmes de traitement par marais artificiels précédés d'une fosse septique pour le traitement des eaux usées de résidences isolées ou autres établissements équivalents aux États-Unis. Une autre référence (Thom *et al.*, 1998) faisait mention de plus de 4 000 petits systèmes au Kentucky seulement. Cette technologie est aussi en forte demande en Amérique centrale, en Europe de l'Est et en Asie (Cole, 1998) et est aussi utilisée sur le continent australien. La gamme de capacités des installations est très large, allant d'installations desservant des résidences isolées jusqu'à des installations de dizaines de milliers de mètres cubes par jour.

Les marais artificiels pour le traitement des eaux usées domestiques ont été introduits au Québec à partir du début des années 1990 suite à des études de techniques de remplacement applicables à l'assainissement des eaux usées des petites agglomérations, coordonnées par la Société québécoise d'assainissement des eaux en collaboration avec le ministère de l'Environnement. L'approche alors privilégiée est décrite en détail dans le guide technique intitulé *Systèmes de traitement des eaux usées par marais artificiels*, préparé par Les Consultants RSA, en janvier 1993. Quelques installations ont été réalisées au cours des années 1990.

## 5.1 TYPES DE MARAIS ARTIFICIELS

Le traitement des eaux usées à l'aide de plantes peut prendre différentes formes. On trouve surtout des systèmes composés de plantes émergentes mais il existe aussi des systèmes à base de plantes submergées ou semi-aquatiques et des systèmes à base de plantes flottantes.

Les marais artificiels à base de plantes émergentes peuvent être à écoulement en surface, à écoulement horizontal sous la surface ou à écoulement vertical. Les types de marais artificiels le plus souvent utilisés sont les marais à écoulement en surface, les marais à écoulement horizontal sous la surface, les systèmes hybrides composés d'unités à écoulement vertical suivies d'unités à écoulement horizontal sous la surface et, plus récemment, les systèmes composés uniquement d'unités à écoulement vertical en série.

Un résumé des conditions d'application des principaux types de marais artificiels pour le traitement des eaux usées domestiques dans le contexte des conditions climatiques du Québec est présenté au tableau 5.1.

### **Marais à écoulement en surface**

Les marais à écoulement en surface (figure 5.1 a) sont constitués de canaux ou de bassins de faible profondeur, dans lesquels les eaux usées cheminent à travers des plantes émergentes et la litière accumulée au-dessus d'une couche de sol servant de milieu pour l'enracinement des plantes.

Les systèmes inventoriés et documentés aux États-Unis sont principalement des marais à écoulement en surface et ils sont surtout utilisés comme traitement de polissage de l'effluent d'un traitement secondaire (Kadlec et Knight, 1996). La concentration des eaux usées appliquées illustrent d'ailleurs assez bien puisqu'elle est de 30 mg/L de DBO<sub>5</sub> et 46 mg/L en MES en moyenne, selon les données de la banque de données nord-américaine préparée pour l'EPA (Knight *et al.*, 1993). L'étude de cas la mieux documentée est celle de Listowell, en Ontario, concernant une installation où des marais à écoulement en surface reçoivent l'effluent d'un étang aéré complètement mélangé ou l'effluent d'un étang non aéré, selon le cas (Herskowitz, 1986). L'auteur recommande que les eaux soient préalablement traitées au moyen d'un traitement aérobique produisant un effluent suffisamment riche en oxygène de manière à prévenir les problèmes de toxicité de l'effluent attribuables au sulfure d'hydrogène ou à l'azote ammoniacal. Par ailleurs, les marais à écoulement en surface soumis à des charges organiques élevées peuvent être plus propices à la prolifération d'insectes et au dégagement d'odeurs.

**Sur la base des renseignements disponibles et des expériences réalisées ailleurs, il est recommandé que l'utilisation des marais à écoulement en surface pour le traitement des eaux usées d'origine domestique soit limitée au traitement de polissage de l'effluent d'un traitement secondaire aérobique.**

## Marais à écoulement horizontal sous la surface

Les marais à écoulement horizontal sous la surface (figure 5.1 b) sont constitués de bassins remplis d'un milieu poreux dans lequel sont placées des plantes émergentes. Les eaux usées s'écoulent horizontalement sous la surface à travers le milieu et les racines des plantes.

En Europe, on trouve principalement des marais à écoulement horizontal sous la surface. Ils sont plus souvent utilisés comme traitement secondaire, bien qu'au Royaume-Uni il y ait aussi plusieurs marais à écoulement horizontal sous la surface utilisés comme traitement de polissage. Une banque de données sur les systèmes existants au Danemark, (Schierup *et al.*, 1990, Kadlec et Knight, 1996) fait état de plusieurs systèmes de ce type utilisés en traitement secondaire.

Dans les marais à écoulement horizontal sous la surface, les apports en oxygène sont relativement limités de sorte que lorsqu'ils sont utilisés pour le traitement des eaux usées domestiques, ils sont principalement en condition anaérobie ou anoxique (Kadlec et Knight, 1995, Knight, 1997, Hammer et Knight, 1994, Reed *et al.*, 1995, Reed et Brown, 1995, Wood, 1995). Des problèmes de court-circuitage en surface ont aussi été observés dans plusieurs installations en Europe (Haberl *et al.*, 1995, Schierup *et al.*, 1990). De telles conditions peuvent réduire l'efficacité de traitement. Elles ont entre autres pour effet de limiter la transformation de l'azote, entraînant des concentrations élevées en azote ammoniacal à l'effluent, à moins que les charges organiques appliquées soient faibles ou que l'affluent soit peu chargé. La banque de données du Danemark montre que plusieurs systèmes ont un effluent dont la concentration moyenne en azote ammoniacal dépasse 20 et même 30 mg/L.

Au Québec, on a observé un bon enlèvement de la DBO<sub>5</sub> dans les marais à écoulement horizontal de la Biosphère de Montréal mais la concentration en azote ammoniacal à l'effluent était relativement élevée, soit 34 mg/L en moyenne (IRBV 1998). Un rendement moindre jusqu'à maintenant dans une autre installation de marais à écoulement horizontal indique toutefois qu'il y a lieu de maintenir une approche prudente lorsque des systèmes de ce genre sont utilisés comme traitement secondaire sans unité à écoulement vertical en amont.

Face aux problèmes reliés aux conditions anaérobies dans les marais à écoulement horizontal sous la surface, plusieurs auteurs recommandent l'ajout d'unités à écoulement vertical (Brix, 1994a, Cooper et Green, 1995, Platzer et Netter, 1994). En Allemagne, où les marais à écoulement horizontal sous la surface sont utilisés comme traitement secondaire, Geller (1997) recommande de limiter le taux de charge hydraulique à 20 ou 30 L/m<sup>2</sup>.d selon que l'on vise ou non l'enlèvement de l'azote. En France, Boutin *et al.* (1999) recommandent d'utiliser les marais à écoulement horizontal uniquement après des marais à écoulement vertical lorsque les conditions du site sont peu propices à l'établissement d'une deuxième étape à écoulement vertical. Dans le guide technique intitulé *Systèmes de traitement des*

usées par marais artificiels (Les Consultants RSA, 1993), il est recommandé d'établir des unités à écoulement vertical en amont des unités à écoulement horizontal si la concentration de l'affluent des marais (effluent de la fosse septique) dépasse 100 mg/L en DBO<sub>5</sub>.

Bien qu'il n'y ait habituellement pas d'exigences de rejet en azote ammoniacal fixées par le MENV pour les projets de traitement d'eaux usées domestiques, il y a quand même lieu de favoriser les systèmes dont la qualité de l'effluent tend vers le respect des objectifs de protection du milieu. De plus, compte tenu des incertitudes qui demeurent quant au bon fonctionnement des marais à écoulement horizontal sous la surface utilisés en traitement secondaire, surtout lorsque les charges sont élevées, et compte tenu des tendances ailleurs qui se dégagent de la littérature, il y a lieu d'adopter une attitude prudente pour l'instant.

**Les marais à écoulement horizontal sous la surface utilisés pour le traitement des eaux usées d'origine domestique devraient préférablement être précédés d'unités à écoulement vertical ou d'un autre mode de traitement aérobie. Ils peuvent toutefois être utilisés en aval d'une fosse septique lorsque les eaux usées sont peu chargées. Le MENV recommande, comme c'est le cas dans le guide des Consultants RSA, de ne pas installer des marais à écoulement horizontal sous la surface directement après une fosse septique lorsque la concentration des eaux usées à l'affluent des marais dépasse 100 mg/L en DBO<sub>5</sub>.**

#### Lits de roseaux à écoulement vertical

**Avis : Considérant le caractère envahissant du roseau commun exotique (*Phragmites australis*), celui-ci ne peut plus être utilisé pour la construction de lits de roseaux à écoulement vertical. L'autorisation de lits ou marais artificiels à écoulement vertical utilisant des plantes non envahissantes demeure possible. Cependant, puisque les informations contenues dans la présente section concernent principalement des systèmes utilisant les roseaux, le concepteur devra adapter son projet selon le type de plantes utilisé.**

Les lits de roseaux à écoulement vertical, alimentés de façon intermittente, et par conséquent non saturés (figure 5.1 c), sont aussi considérés comme un type de marais artificiels. Les eaux usées sont distribuées sur la surface du lit et percolent à travers le milieu et les racines des plantes jusqu'à un réseau de drainage situé dans une couche drainante au fond du lit.

Ils sont utilisés le plus souvent comme première étape d'un système hybride de traitement des eaux usées par marais artificiels, composé d'unités à écoulement vertical suivies d'unités à écoulement horizontal sous la surface. Ce type de marais proposé par Seidel comme premières étapes du système *Max-Plank-Institute-Process* a été peu utilisé dans les premières générations de marais artificiels, mais il suscite un regain d'intérêt depuis une dizaine d'années, particulièrement en Europe (Cooper et Green, 1995, Haberl *et al.*, 1995, Brix, 1994a, von Felde et Kunst, 1997, Wittgren et Maehlum, 1997, Reed *et al.*, 1995). Ce regain d'intérêt fait suite aux constatations mentionnées précédemment relativement à la rareté d'oxygène dans les systèmes à écoulement horizontal et les conséquences qui en résultent.

Une nouvelle approche élaborée en France, qui consiste à utiliser deux étapes de lits de roseaux à écoulement vertical en série, donne d'excellents résultats (Boutin *et al.*, 1999, Boutin *et al.*, 1997).

Des essais ont été réalisés en Australie avec des marais à écoulement vertical ascendant, donc saturés comme dans le cas des marais à écoulement horizontal (Breen et Chick, 1995, Heritage *et al.*, 1995, Chick et Mitchell, 1995). Bien que cette approche semble intéressante, elle ne fera pas l'objet du présent guide puisque nous ne détenons pas encore suffisamment de renseignements sur son application à grande échelle et son comportement à long terme.

**Les lits de roseaux à écoulement vertical peuvent être utilisés directement en aval d'une fosse septique et sont généralement suivis d'unités à écoulement horizontal sous la surface (voir systèmes hybrides). L'utilisation d'une deuxième étape à écoulement vertical comprenant une couche de milieu filtrant plus fin peut aussi être considérée.**

### **Systèmes hybrides**

Les systèmes hybrides dont il est question dans ce guide sont des systèmes composés de lits de roseaux à écoulement vertical suivis de marais à écoulement horizontal sous la surface, comme mentionné ci-dessus.

**De tels systèmes hybrides peuvent être utilisés directement en aval d'une fosse septique, comme traitement secondaire d'eaux usées d'origine domestique.**

### **Bassins avec plantes aquatiques flottantes**

Des systèmes de traitement d'eaux usées constitués de bassins recouverts de plantes aquatiques flottantes, telles les jacinthes d'eau ou les lenticules, sont utilisés principalement aux États-Unis. Au Québec, des expériences ont été menées en introduisant des plantes aquatiques flottantes à la surface d'étangs aérés dans le but de remplacer les coagulants chimiques utilisés pour la déphosphatation des eaux usées (Le Groupe Steica inc., 1996). Des jacinthes d'eau ont été utilisées à St-Élie-d'Orford alors que des lenticules ont été utilisées à Roxton Pond. Aucun système de traitement par les plantes aquatiques flottantes conçu en fonction du traitement secondaire d'eaux usées domestiques n'a été réalisé dans les conditions climatiques du Québec.

Les systèmes munis de plantes aquatiques flottantes ne sont pas inclus dans les systèmes de traitement par marais artificiels aux fins du présent guide. Des cas particuliers

d'utilisation saisonnière, principalement pour la déphosphatation, pourraient être considérés mais ils doivent faire l'objet d'une analyse cas par cas (voir la section 8.1).

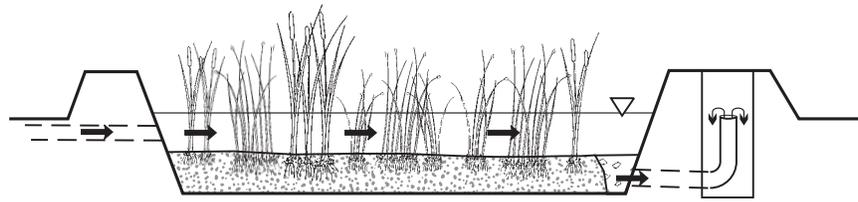
### Autres variantes

Aux États-Unis, des essais ont été réalisés en recirculant l'effluent sur des filtres aérobies (milieux plastiques de type lits bactériens ou filtres à gravier) incorporés dans une chaîne de traitement à base de marais artificiels (White, 1995, Askew *et al.*, 1994). Ces systèmes semblent démontrer un potentiel intéressant mais sont actuellement au stade expérimental ou au stade du développement et n'ont pas été éprouvés en climat froid.

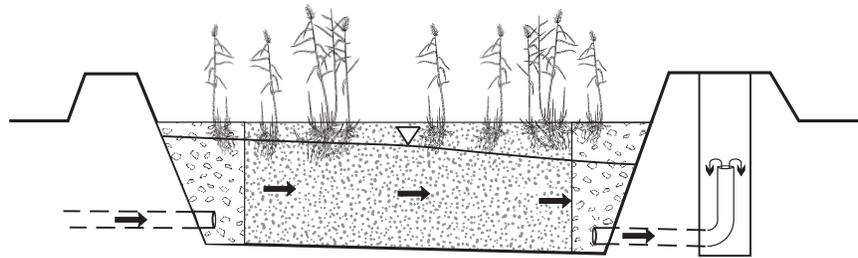
Des variantes de systèmes utilisant des plantes dans le traitement des eaux usées d'origine domestique peuvent faire appel à des concepts ou des milieux spécifiques commercialisés par une entreprise autres que ceux prévus dans ce guide. Ces systèmes doivent être classés selon la procédure applicable aux nouvelles technologies.

**Tableau 5.1 Applications des différents types de marais artificiels**

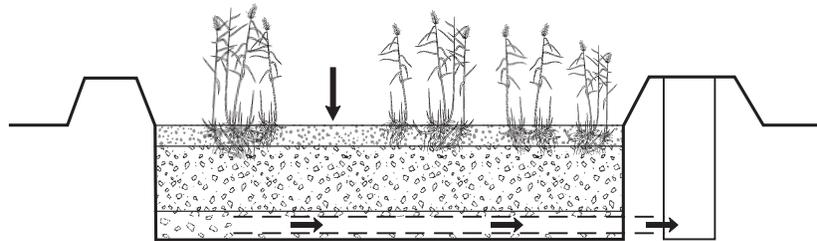
Type de marais	Application
Marais à écoulement en surface	Traitement de polissage
Marais à écoulement horizontal sous la surface	Dernière étape d'un système hybride ou d'une chaîne de traitement comportant des composantes aérobies
	Traitement secondaire d'eaux diluées DBO <sub>5</sub> ≤ 100 mg/L
Lits de roseaux à écoulement vertical	Première étape d'un système hybride
	Traitement secondaire composé de deux étages en série
Systèmes hybrides	Traitement secondaire
Variante spécifiques à un fournisseur	Voir fiches d'évaluation technique de nouvelles technologies



a) Marais à écoulement en surface



b) Marais à écoulement horizontal sous la surface



c) Lit de roseau à écoulement vertical

**Figure 5.1 Types de marais artificiels**

## 5.2 MARAIS À ÉCOULEMENT EN SURFACE

### 5.2.1 Traitement préalable

Puisqu'il est recommandé que l'utilisation des marais artificiels à écoulement en surface pour le traitement des eaux usées d'origine domestique soit limitée au polissage d'un effluent secondaire aérobie, ceux-ci devraient être précédés d'un système de traitement secondaire.

### 5.2.2 Critères de conception

Différentes approches peuvent être utilisées pour établir la superficie des marais artificiels à écoulement en surface pour le traitement des eaux usées. Il n'y a pas consensus des spécialistes sur une méthode à privilégier. Deux de ces approches sont présentées ci-dessous, l'une basée sur la charge hydraulique superficielle et l'autre basée sur le temps de rétention hydraulique. D'autres méthodes sont présentées dans la littérature. Une approche basée sur le principe d'une culture fixée, en tenant compte de la surface spécifique dans le marais (tiges des plantes, litières, surface du sol) est complexe à appliquer. On trouve aussi des équations basées sur des analyses statistiques de régression effectuées à partir de données d'exploitation d'installations existantes.

#### Approche basée sur la charge hydraulique superficielle

Cette approche est basée sur la réduction de matières polluantes en fonction du taux de charge hydraulique superficielle appliqué au marais (Kadlec et Knight, 1996). Elle présuppose que le volume de rétention additionnel au-delà d'une certaine hauteur d'eau contribue peu au traitement, entre autres parce que l'épaisseur de litière est limitée et que la surface de contact avec le sol n'augmente pas. La hauteur d'eau typique est de 30 cm. Les auteurs de cette approche considèrent que la température n'a pas d'incidence sur le rendement, sauf pour l'azote. Ils considèrent toutefois une concentration limite, ou bruit de fond du marais, pour chaque paramètre, compte tenu de la nature même des marais.

Modèle proposé (Kadlec et Knight, 1996) :

- pour le calcul de la superficie requise :

$$A = \left( \frac{0,0365 \cdot Q}{K} \right) \cdot \ln \left( \frac{C_a - C^*}{C_e - C^*} \right) \quad (5.1)$$

où

A	=	superficie requise, ha
Q	=	débit, m <sup>3</sup> /d
K	=	constante d'ordre 1, m/an
C <sub>a</sub>	=	concentration à l'affluent, mg/L

$C_e$  = concentration à l'effluent, mg/L  
 $C^*$  = bruit de fond, mg/L

- pour le calcul de la concentration à l'effluent :

$$C_e = C^* + (C_a - C^*) \cdot e^{\left(\frac{KA}{0,0365 \cdot Q}\right)} \quad (5.2)$$

La valeur de K peut être ajustée en fonction de la température en utilisant la formule habituelle :

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (5.3)$$

Les valeurs proposées (Kadlec et Knight, 1996) pour les paramètres du modèle sont les suivantes :

	DBO <sub>5</sub>	MES	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>x</sub> -N	N <sub>T</sub>	P <sub>T</sub>	CF
K <sub>20</sub> (m/an)	34	1000	18	35	22	12	75
θ	1,00	1,00	1,04	1,09	1,05	1,00	1,00
C* (mg/L)	3,5 + 0,053 C <sub>a</sub>	5,1 + 0,16 C <sub>a</sub>	0,00	0,00	1,50	0,02	300

### Approche basée sur le temps de rétention hydraulique

Une autre approche est basée sur le temps de rétention hydraulique (Reed *et al.*, 1995).

Modèle proposé (Reed *et al.*, 1995) :

- pour le calcul de la concentration à l'effluent :

$$C_e = C_a \cdot e^{-K_T t} \quad (5.4)$$

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)} \quad (5.5)$$

- pour le calcul de la superficie requise :

$$A = \frac{Q(\ln C_a - \ln C_e)}{K_T(y)(n)} \quad (5.6)$$

où A = superficie requise, m<sup>2</sup>

Q	=	débit, m <sup>3</sup> /d
K	=	constante d'ordre 1, d <sup>-1</sup>
C <sub>a</sub>	=	concentration à l'affluent, mg/L
C <sub>e</sub>	=	concentration à l'effluent, mg/L
t	=	temps de rétention, jours
y	=	hauteur d'eau, m
n	=	porosité
T	=	température
θ	=	constante

Les valeurs proposées pour les paramètres du modèle sont les suivantes :

K <sub>20</sub>	=	0,678 d <sup>-1</sup> pour la DBO <sub>5</sub>
θ	=	1,06 pour la DBO <sub>5</sub>
K <sub>20</sub>	=	0,218 pour la nitrification <sup>(1)</sup>
θ	=	1,048 pour la nitrification <sup>(1)</sup>
K <sub>20</sub>	=	1,000 pour la dénitrification <sup>(2)</sup>
θ	=	1,15 pour la dénitrification <sup>(2)</sup>
n	=	0,65 à 0,75

- Notes :
1. Bien que la nitrification s'exerce sur l'azote ammoniacal, il est recommandé d'assumer que tout l'azote Kjeldahl sera ammonifié et susceptible d'être nitrifié.
  2. Dans le calcul de la dénitrification, on doit considérer les NO<sub>x</sub> à l'affluent du marais et tenir compte de la nitrification qui s'exercera dans le marais.

Pour une profondeur d'eau de l'ordre de 30 cm dans les marais et des conditions climatiques estivales, les deux modèles présentés donnent des résultats à peu près équivalents. La principale différence réside dans l'hypothèse relative à l'influence de la température sur l'enlèvement de la DBO<sub>5</sub>, qui serait négligeable selon Kadlec et Knight (1996) (valeur de θ = 1,00), et significative selon Reed *et al.*, (1995) (valeur de θ = 1,06), ce deuxième modèle étant plus conservateur par temps froid. En théorie, l'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> devrait être dépendant de la température dans la mesure où il s'agit d'un phénomène standard de synthèse biologique. Pour des applications en traitement tertiaire, il est possible que l'effet de la température soit moindre étant donné qu'une part importante de la DBO<sub>5</sub> à l'affluent du marais est constituée de biomasse formée dans le système de traitement secondaire et, de ce fait, serait sous forme particulaire. L'état actuel des connaissances ne permettant pas d'établir de façon claire l'incidence de la température, il revient au concepteur d'appliquer la valeur de θ qu'il jugera la plus appropriée en fonction des conditions d'application visées.

Si des exigences de rejet sévères doivent être respectées, les marais à écoulement en surface peuvent s'avérer non appropriés. On peut aussi prévoir un étang de stockage de façon à ne pas avoir de rejet en hiver.

### **Hauteur d'eau**

La hauteur d'eau normale dans un marais à écoulement en surface se situe généralement entre 0,15 et 0,45 m. Le niveau d'eau devrait pouvoir être augmenté en hiver pour tenir compte de l'épaisseur de glace susceptible de se former et de l'augmentation du temps de rétention qui pourrait être requise.

Un fond en pente d'environ 0,5 % est souvent prévu pour faciliter le drainage du marais.

### **Géométrie**

Il est préférable de prévoir au moins deux cellules de façon à pouvoir maintenir au moins une cellule en activité si l'une des cellules doit être contournée pour des raisons d'entretien.

La forme des bassins peut être adaptée aux contraintes du site d'établissement des marais. Il faut cependant favoriser un écoulement le plus uniforme possible afin d'utiliser la superficie entière des marais et prévenir le court-circuitage. Le rapport longueur/largeur minimum recommandé est de 2:1. Si un rapport longueur/largeur très élevé est utilisé, il peut être requis de vérifier la vitesse d'écoulement et la perte de charge dans le marais à l'aide de l'équation de Manning. La vitesse d'écoulement doit demeurer suffisamment faible pour favoriser la sédimentation et prévenir une remise en suspension des particules. En général, la vitesse d'écoulement dans les marais existants est bien inférieure à la vitesse critique. Le calcul de perte de charge peut avoir pour effet de limiter la longueur du marais ou d'en augmenter le gradient hydraulique. Des explications détaillées sont fournies dans la littérature (Kadlec et Knight, 1996, Reed *et al.*, 1995).

L'ajout de zones profondes perpendiculaires au sens d'écoulement et dépourvues de plantes pourrait favoriser une répartition plus uniforme du débit dans le marais. La profondeur de ces zones est d'au moins 1 à 1,5 m. La largeur doit être suffisante pour permettre l'action du vent sur la surface de l'eau.

## Dispositifs d'entrée et de sortie

Les dispositifs d'entrée et de sortie doivent être conçus de manière à favoriser la répartition du débit et un écoulement le plus uniforme possible sur la superficie entière du marais. S'il est prévu d'exploiter le marais l'hiver, ces dispositifs doivent demeurer fonctionnels en période de gel.

La distribution des eaux à l'entrée se fait généralement en plusieurs points. Il faut s'assurer que les conduites de distribution demeurent accessibles pour un nettoyage futur. Il est recommandé de prévoir une conduite de dérivation permettant de continuer d'alimenter le marais en cas de colmatage du dispositif de distribution.

Le dispositif de sortie doit être ajustable, habituellement à partir du fond du marais, pour permettre son drainage si requis et permettre d'ajuster le gradient hydraulique au besoin, jusqu'à une élévation de 0,6 m par rapport au niveau du fond. Il peut s'agir d'une conduite de collecte perforée placée au fond du marais ou dans une tranchée légèrement plus profonde que le marais, l'extrémité de la conduite de sortie étant ajustable. L'établissement d'une zone transversale profonde à surface libre de plantes, juste en amont du dispositif de collecte, peut favoriser un drainage plus uniforme du marais sur l'ensemble de sa largeur. Si un déversoir est utilisé, son niveau doit être ajustable et une chicane devrait être placée en amont pour en prévenir le colmatage par les débris provenant du marais.

## Terrassement et digues

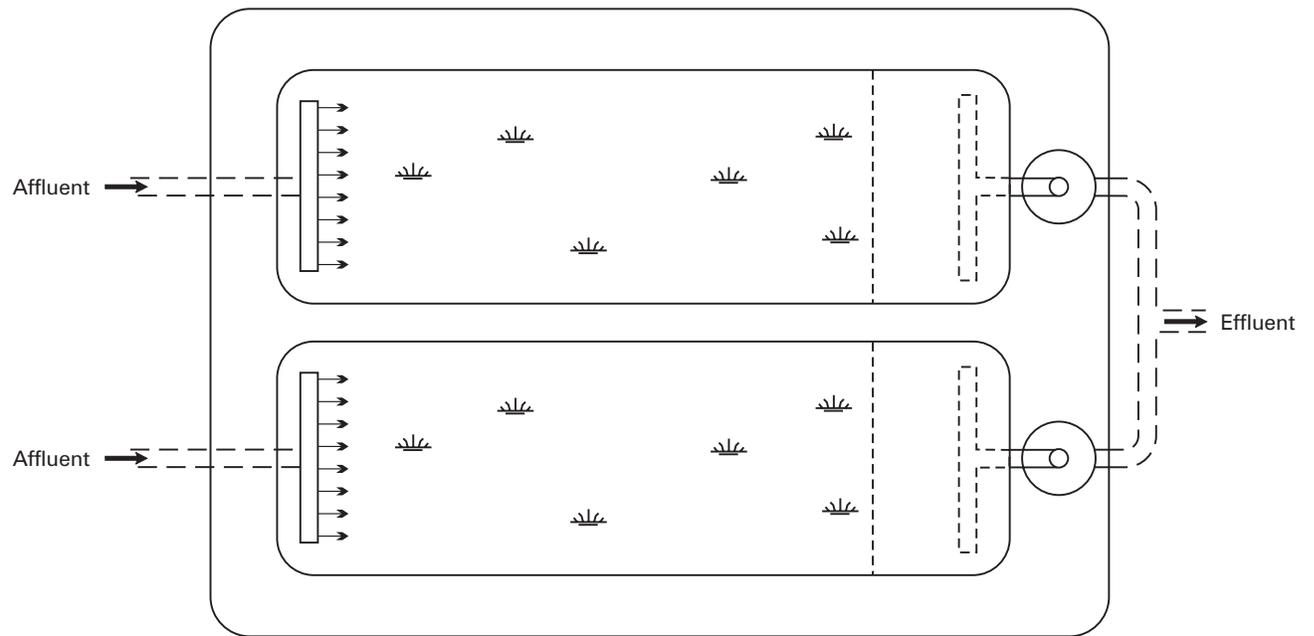
La conception des digues doit être faite selon les règles de l'art du génie civil et des considérations géotechniques pour en assurer la stabilité et une étanchéité adéquate. La pente typique des talus est de 2 H:1 V à 3 H:1 V. La hauteur de revanche doit être suffisante pour prévenir tout risque de débordement en conditions de débit maximal.

La largeur au sommet des digues peut être de l'ordre de 1 m dans les zones où l'accès ne se fait qu'à pied et de 3 m là où un accès par véhicule est prévu.

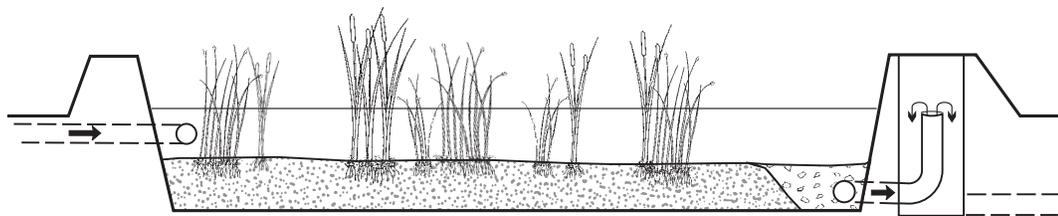
Le fond des marais doit être nivelé avec attention avec une tolérance de l'ordre de  $\pm 3$  cm. La couche de terre arable enlevée lors de l'excavation peut être réutilisée comme milieu au fond du marais, sur une épaisseur d'au moins 20 cm, et pouvant aller jusqu'à 30 ou 40 cm pour la mise en place des plantes.

## Plantes

Les types de plantes qui ont été utilisées le plus couramment dans les marais à écoulement en surface sont les quenouilles, les phragmites ou les scirpes (figure 5.3). **Toutefois, compte tenu du caractère envahissant du roseau commun exotique (*Phragmites australis*), le Ministère n'autorise plus de nouveaux systèmes de marais artificiels utilisant cette plante. Seuls les marais artificiels utilisant des plantes non envahissantes peuvent être implantés au Québec. Les roseaux communs exotiques présents dans les marais artificiels déjà existants n'ont pas à être remplacés, mais tout agrandissement d'un marais artificiel existant doit être effectué avec des plantes non envahissantes.**

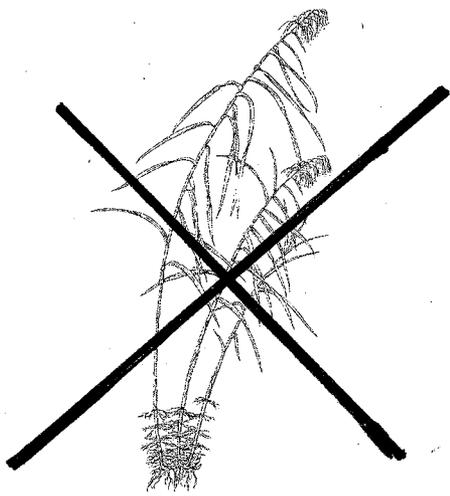


Vue en plan

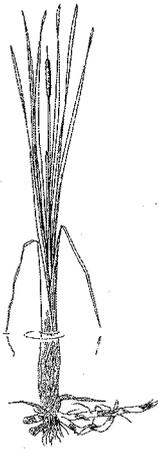


Section longitudinale

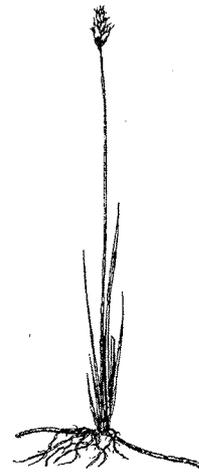
**Figure 5.2 Marais à écoulement en surface**



a) Phragmites



b) Quenouilles



c) Scirpes

**Figure 5.3 Types de plantes**

La densité initiale de plantation visée est d'environ 10 000 plants par hectare. Une densité de plus de 100 000 plants par hectare devrait être atteinte à l'équilibre lorsque le marais aura atteint sa maturité.

Des renseignements plus détaillés sur le choix de la méthode de plantation de la végétation (semis, plants en pots, rhizomes ou autres) ainsi que sur les précautions à prendre, comme la régulation de l'humidité du milieu et l'ajustement du niveau d'eau, se trouvent dans la littérature (Kadlec et Knight, 1996, Reed *et al.*, 1995).

### 5.2.3 Rendement

Le rendement attendu d'un système de traitement d'eaux usées par marais artificiels peut être estimé au moyen des modèles mathématiques présentés ci-dessus.

Un sommaire du rendement moyen à long terme des marais artificiels à écoulement en surface appliqués comme traitement de polissage d'effluents de systèmes de traitement secondaire est présenté par Kadlec et Knight (1995). Ce sommaire a été fait à partir de la base de données nord-américaine préparée pour l'U.S. EPA. Les concentrations moyennes à l'affluent et à l'effluent pour différents paramètres sont résumées au tableau 5.2.

**Tableau 5.2 Rendement moyen des marais à écoulement en surface**

Paramètre	Concentration (mg/L)	
	Affluent	Effluent
DBO <sub>5</sub>	30,3	8,0
MES	45,6	13,5
NTK	7,60	4,31
NH <sub>4</sub>	4,88	2,23
NO <sub>x</sub>	5,56	2,15
P <sub>T</sub>	3,78	1,62

## 5.3 MARAIS À ÉCOULEMENT HORIZONTAL SOUS LA SURFACE

### 5.3.1 Traitement préalable

Les marais artificiels à écoulement horizontal sous la surface peuvent être précédés uniquement d'un système de traitement primaire, généralement une fosse septique, si les eaux usées à traiter ne sont pas trop concentrées. En se basant sur une hypothèse de 30 % d'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> dans la fosse septique, les eaux usées brutes ne devraient pas avoir plus de 140 mg/L de DBO<sub>5</sub> de façon que la concentration à l'entrée des marais ne dépasse pas 100 mg/L de DBO<sub>5</sub>.

Si les eaux usées à traiter sont plus concentrées, une étape de traitement supplémentaire par un autre système de traitement doit être prévue.

### 5.3.2 Critères de conception

Comme dans le cas des marais à écoulement en surface, diverses approches ont été utilisées pour établir la superficie des marais artificiels à écoulement horizontal sous la surface. Les principales approches utilisées sont celle basée sur le temps de rétention hydraulique et celle basée sur la charge hydraulique superficielle. On trouve aussi des équations basées sur des analyses statistiques de régression effectuées à partir de données d'exploitation d'installations existantes, mais elles ne tiennent pas compte des paramètres de conception et d'exploitation de ces installations et sont donc difficilement applicables comme base de conception.

La valeur de la constante K de l'approche basée sur la charge superficielle est proportionnelle à la valeur de constante  $K_r$  de l'approche basée sur le temps de rétention. Le rapport entre ces constantes est fonction de la hauteur d'eau et de la porosité du milieu. Pour des systèmes typiques composés principalement de sable et de gravier, avec une hauteur d'eau d'environ 0,6 m dans le milieu, les deux modèles peuvent être utilisés.

#### Approche basée sur la charge hydraulique superficielle

Le modèle utilisé est le même que celui recommandé pour les marais à écoulement en surface (équations 5.1 à 5.3), à l'exception des valeurs des constantes qui sont généralement différentes.

Compte tenu que les applications visées correspondent plus souvent à un traitement secondaire qu'à un traitement de polissage, la concentration limite ou bruit de fond est moins significative par rapport à la concentration visée à l'effluent. Elle n'est donc pas prise en considération dans le modèle utilisé en Europe (Cooper et Green, 1995, Brix 1994a, EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, 1990), là où ce type de marais est le plus utilisé. Ce modèle peut être exprimé de la façon suivante :

$$A = \frac{Q(\ln C_a - \ln C_e)}{K} \quad (5.7)$$

où

- A = superficie du marais, m<sup>2</sup>
- Q = débit, m<sup>3</sup>/d
- C<sub>a</sub> = concentration à l'affluent, mg/L
- C<sub>e</sub> = concentration à l'effluent, mg/L
- K = constante d'ordre 1, m/d

Les valeurs de la constante K proposées pour la DBO<sub>5</sub> dans la littérature varient beaucoup d'une référence à l'autre. Les valeurs tirées de l'analyse de données européennes semblent toutefois plus représentatives des conditions d'applications visées, soit le plus souvent en traitement secondaire, que celle des données américaines, où les marais sont plus souvent utilisés comme traitement de polissage.

La valeur de K pour la DBO<sub>5</sub> recommandée dans *European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems* (EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, 1990) est de 0,1 m/d. Cette valeur correspond d'ailleurs sensiblement à celle calculée par Brix (1994) à partir du rendement moyen mesuré sur un grand nombre d'installations existantes au Danemark.

En principe, l'activité biologique est sensible à la température. Les résultats disponibles sur le rendement des installations existantes ne permettent toutefois pas d'établir clairement une variation de la constante d'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> en fonction de la température dans les marais à écoulement horizontal sous la surface (Kadlec et Knight 1996). Une baisse de rendement en conditions hivernales a été notée surtout pour des installations à milieu plus grossier, dont la charge superficielle en DBO<sub>5</sub> se situait entre 5 et 20 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d (Findlater *et al.*, 1990). La constante d'enlèvement de la DBO<sub>5</sub> calculée à partir des résultats de suivi de l'installation de la Biosphère à Montréal (IRVB, 1998), dont la charge superficielle en DBO<sub>5</sub> était de 3,17 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d, s'est avérée indépendante de la température. La valeur de K pour la DBO<sub>5</sub> égale à 0,1 m/d mentionnée précédemment peut être acceptable pour des charges relativement faibles et des températures moyennes mais il serait plus sûr d'y apporter une correction en fonction de la température si des charges plus élevées et des températures très basses sont prévues.

La valeur de K pour l'azote total calculée par Brix (1994a) à partir du rendement moyen mesuré sur un grand nombre d'installations existantes au Danemark est de 12,7 m/an ou 0,035 m/d. La transformation de l'azote est généralement sensible à la température. Une correction de cette valeur K doit donc être faite en fonction de la température en utilisant la méthode prévue à l'équation 5.5. La valeur de  $\theta$  alors recommandée est de 1,048.

### **Approche basée sur le temps de rétention hydraulique**

Cette approche est celle recommandée dans le guide *Systèmes de traitement des eaux usées par marais artificiels* (Les Consultants RSA, 1993) et par d'autres auteurs (Reed *et al.*, 1995, Crites et Tchobanoglous, 1996).

Le modèle proposé par Reed *et al.* est basé sur une hauteur d'eau moyenne dans le milieu, contrairement à celui proposé par Les Consultants RSA, qui proposent d'intégrer la loi de Darcy sur la longueur du marais pour tenir compte de la courbure théorique de la nappe d'eau entre l'entrée et la sortie. Le modèle de Reed *et al.* est une simplification raisonnable, surtout si l'on considère qu'il est recommandé d'effectuer la conception pour une hauteur

d'eau à la sortie correspondant à au moins 80 % de la hauteur maximale possible par rapport au fond du marais.

Le modèle proposé (Reed *et al.*, 1995) est le même que celui qui s'applique aux marais à écoulement en surface (équations 5.4 à 5.6), en adaptant les valeurs des constantes :

- pour le calcul de la concentration à l'effluent :

$$C_e = C_a \cdot e^{-K_T t} \quad (5.4)$$

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)} \quad (5.5)$$

- pour le calcul de la superficie requise :

$$A = \frac{Q(\ln C_a - \ln C_e)}{K_T(y)(n)} \quad (5.6)$$

où

A	=	superficie requise, m <sup>2</sup>
Q	=	débit, m <sup>3</sup> /d
K <sub>T</sub>	=	constante d'ordre 1 à la température T, d <sup>-1</sup>
C <sub>a</sub>	=	concentration à l'affluent, mg/L
C <sub>e</sub>	=	concentration à l'effluent, mg/L
t	=	temps de rétention, jours
y	=	hauteur d'eau, m
n	=	porosité

Les valeurs proposées pour les paramètres du modèle sont les suivantes :

K <sub>20</sub>	=	1,1 d <sup>-1</sup> pour la DBO <sub>5</sub>
θ	=	1,06 pour la DBO <sub>5</sub>
K <sub>20</sub>	=	0,107 pour la nitrification <sup>(1)</sup>
θ	=	1,048 pour la nitrification <sup>(1)</sup>
K <sub>20</sub>	=	1,000 pour la dénitrification <sup>(2)</sup>
θ	=	1,15 pour la dénitrification <sup>(2)</sup>

- Notes :
1. Bien que la nitrification s'exerce sur l'azote ammoniacal, il est recommandé d'assumer que tout l'azote Kjeldahl sera ammonifié et susceptible d'être nitrifié.
  2. Dans le calcul de la dénitrification, on doit considérer les NO<sub>x</sub> à l'affluent du marais et tenir compte de la nitrification qui s'exercera dans le marais.

La porosité du milieu se situe entre 0,30 et 0,45 selon sa grosseur. Des valeurs de porosité et de conductivité hydraulique en fonction du diamètre effectif ( $D_{10}$ ) du milieu sont présentées au tableau 5.3.

**Tableau 5.3** Caractéristiques des milieux filtrants des marais

Milieu	Diamètre effectif $D_{10}$ (mm)	Porosité $n$	Conductivité hydraulique $k_s$ (m/d)
Sable grossier	2	0,28 à 0,32	100 à 1 000
Sable graveleux	8	0,30 à 0,35	500 à 5 000
Gravier fin	16	0,35 à 0,38	1 000 à 10 000
Gravier moyen	32	0,36 à 0,40	10 000 à 50 000
Gravier grossier	128	0,38 à 0,45	50 000 à 250 000

À défaut de connaître les températures ambiantes qui affecteront les conditions spécifiques au projet, la température moyenne de conception recommandée par Les Consultants RSA est de 16 °C pour la période estivale et de 5 °C pour la période hivernale. Reed *et al.* proposent un modèle de calcul de la température prévue dans les marais mais ce modèle peut être difficile à appliquer compte tenu des renseignements nécessaires pour son application. De plus, la précision additionnelle qu'il pourrait apporter peut être considérée comme superflue en regard des inconnues ou des imprécisions sur l'effet de la température et sur la constante K.

### Profondeur du lit et profondeur d'eau

La profondeur du lit filtrant est reliée à la profondeur de pénétration des racines des plantes. Avec les phragmites, la hauteur d'eau dans le milieu à l'entrée est généralement de 0,6 m. Une épaisseur additionnelle de milieu de 0,075 à 0,150 m au-dessus du niveau d'eau est normalement recommandée.

Les digues ont généralement une hauteur de revanche de 0,3 à 0,5 m au-dessus de la surface du lit. Elles doivent avoir une hauteur suffisante pour permettre d'inonder la surface des lits si requis pour assurer la croissance sélective des plantes souhaitées. Elles doivent également permettre de contenir temporairement l'eau qui pourrait s'accumuler en cas de pointe hydraulique en s'assurant qu'il n'y ait pas de risque de ruissellement par-dessus les digues.

Si des débits exceptionnellement élevés sont susceptibles d'être acheminés dans le marais, par exemple pour assurer un traitement minimal des eaux de captage en temps de pluie, un trop-plein d'urgence peut être ajouté.

## Milieu

Le milieu sert à la fois de filtre pour le traitement des eaux usées et de support pour les plantes. Il doit avoir une conductivité hydraulique suffisante pour permettre l'écoulement des eaux usées sous la surface sans qu'il n'y ait de problèmes d'accumulation d'eau, d'écoulement préférentiel et de ravinement en surface, susceptibles d'entraîner une baisse de rendement.

Le milieu est généralement constitué d'un matériau granulaire (sable grossier, gravier) ayant une conductivité hydraulique d'au moins  $1 \times 10^{-1}$  cm/s. Le silt est à éviter. Les particules doivent être de préférence de forme arrondie en évitant les pierres anguleuses ou les arêtes vives.

## Géométrie

Il est recommandé de répartir la superficie totale en au moins deux lits en parallèle de façon à pouvoir en conserver au moins un lorsqu'il est nécessaire d'en mettre un hors service pour procéder à des travaux d'entretien ou d'autres travaux.

Il n'y a pas de critère de rapport longueur/largeur. La géométrie est déterminée à partir d'une analyse de capacité hydraulique. La longueur dans le sens de l'écoulement est établie à l'aide de loi de Darcy de façon à s'assurer que les pertes de charge dans le milieu se situent à l'intérieur de la différence de niveau d'eau voulue entre l'entrée et la sortie. Par contre, une longueur minimale de 3,0 m est recommandée pour assurer une bonne efficacité de traitement et prévenir les risques d'écoulement préférentiel (Les Consultants RSA, 1993).

L'expression simplifiée de la loi de Darcy peut s'écrire de la façon suivante :

$$A_c = \frac{Q}{kS} \quad (5.8)$$

où

- $A_c$  = section transversale,  $m^2$
- $Q$  = débit,  $m^3/s$
- $k$  = conductivité hydraulique, m/s
- $S$  = pente hydraulique, m/m

Pour fins de conception, on ne doit jamais poser l'hypothèse que la conductivité hydraulique à long terme sera plus grande que la conductivité hydraulique initiale du milieu. De nombreux systèmes conçus selon cette hypothèse en Europe ont connu des problèmes d'écoulement en surface puisque, au mieux, le développement des racines des plantes peut favoriser un maintien mais non une augmentation de la conductivité hydraulique (Brix, 1994b).

Certains auteurs (Crites et Tchobanoglous, 1998, Reed *et al.*, 1995) suggèrent même d'introduire un facteur de sécurité en utilisant une valeur de conductivité hydraulique de conception de 3 à 10 fois inférieure à la valeur mesurée.

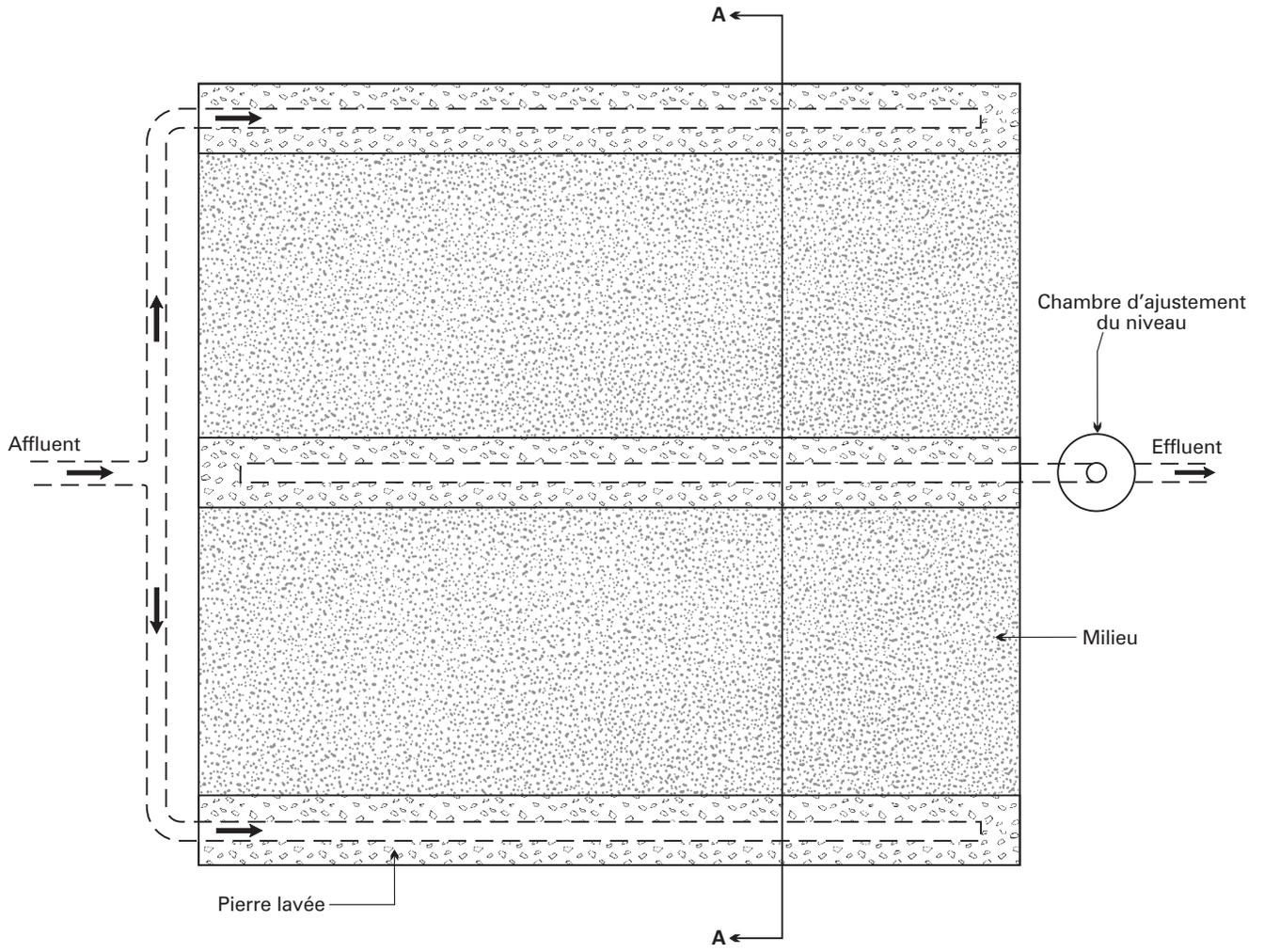
La pente hydraulique est fonction de la différence de niveau d'eau entre l'entrée et la sortie du marais par rapport à la longueur du marais. Il est recommandé de faire la conception (calcul de la surface requise et géométrie) en fonction d'une hauteur d'eau à la sortie d'au moins 80 % de la hauteur maximale. À titre d'exemple, pour une hauteur d'eau de 0,6 m à l'entrée et une longueur d'écoulement de 5 m, la différence de niveau entre l'entrée et la sortie utilisée pour les calculs de conception, qui correspond à 20 % de la hauteur d'eau à l'entrée, est de 0,12 m, et la pente hydraulique maximale qui en résulte est de 0,024.

Le fond du lit peut être horizontal ou avoir une légère pente descendante ne dépassant pas 0,5 % à 2 % dans le sens de l'écoulement pour en faciliter le drainage au besoin.

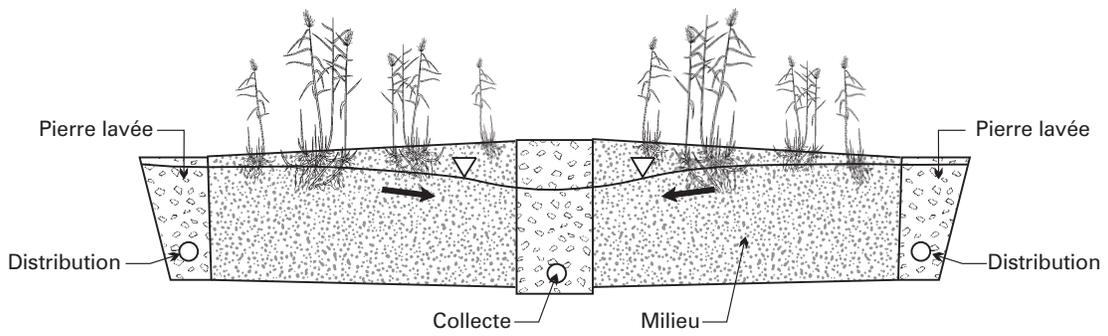
La surface du milieu doit, de préférence, avoir une légère pente ascendante vers la sortie pour prévenir le ravinement et le cheminement préférentiel en surface en cas d'incapacité hydraulique.

Le fond et la surface du lit doivent être de niveau dans le sens de la largeur, c'est-à-dire dans le sens perpendiculaire au sens de l'écoulement.

Puisque les contraintes hydrauliques limitent la longueur d'écoulement, la largeur des marais est souvent plus grande que la longueur, du moins pour les grands systèmes. Il faut toutefois s'assurer que les eaux usées sont réparties uniformément sur toute la largeur du marais. Si la largeur totale requise est trop grande, le marais doit être divisé en plusieurs sections.

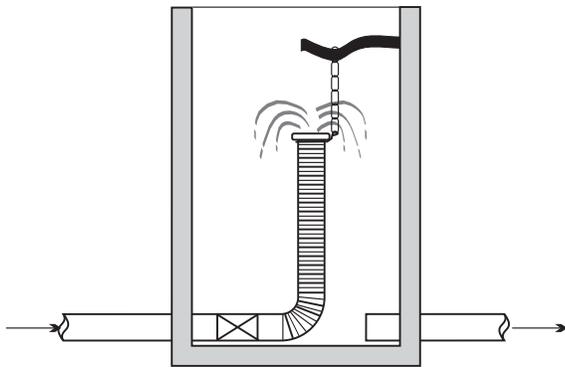


Vue en plan

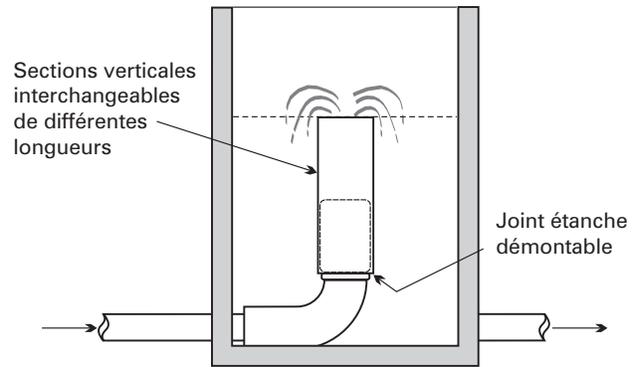


Coupe A-A

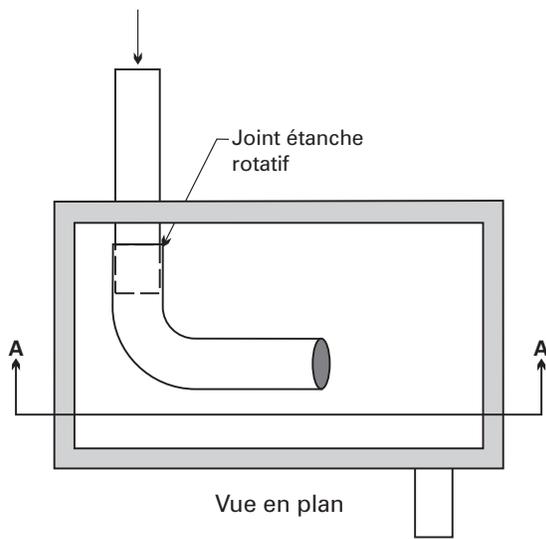
**Figure 5.4 Marais à écoulement horizontal sous la surface**



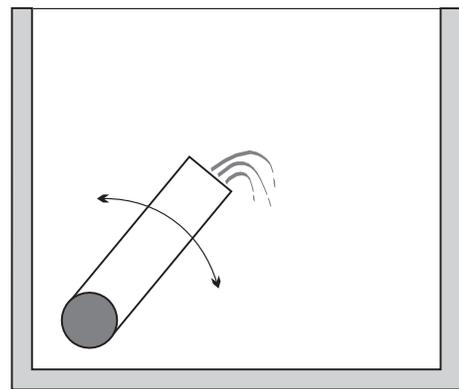
a) Conduite flexible



b) Sections verticales interchangeables



Vue en plan



Coupe A-A

c) Conduite avec joint rotatif

**Figure 5.5 Dispositifs d'ajustement du niveau**

## Dispositifs d'entrée et de sortie

Les dispositifs d'alimentation des marais et de distribution des eaux usées doivent être faits de façon à assurer une répartition uniforme et une utilisation optimale de toute la superficie du marais. Ils doivent être conçus de manière à prévenir les problèmes causés par le gel en période hivernale.

L'alimentation d'un marais à écoulement horizontal sous la surface se fait le plus souvent de façon continue. Le dispositif de distribution est généralement constitué d'une conduite perforée, ou munie de tés, installée dans une tranchée remplie de pierre lavée dont le diamètre se situe entre 25 et 100 mm.

La collecte de l'effluent peut aussi se faire au moyen d'une tranchée de pierre lavée de même diamètre que pour la tranchée de distribution. Une conduite munie d'orifices ou de fentes est placée au fond de la tranchée. Une chambre d'ajustement du niveau à la sortie est nécessaire. La plage d'ajustement doit être suffisamment grande pour permettre de noyer le marais jusqu'à une hauteur de 200 mm au-dessus de la surface du lit d'une part, et permettre le drainage jusqu'au fond du lit d'autre part. Divers dispositifs peuvent être prévus à cette fin, comme une conduite flexible dont l'extrémité est ajustable, une conduite munie d'un joint permettant d'en ajuster l'extrémité par rotation ou une conduite verticale avec des sections interchangeables entre autres.

Les conduites de distribution et de collecte doivent être aménagées de façon à pouvoir les nettoyer lorsque nécessaire.

## Plantes

Les phragmites sont le type de plantes qui a été le plus souvent utilisées. **Toutefois, compte tenu du caractère envahissant du roseau commun exotique (*Phragmites australis*), le Ministère n'autorise plus de nouveaux systèmes de marais artificiels utilisant cette plante. Seuls les marais artificiels utilisant des plantes non envahissantes peuvent être implantés au Québec. Les roseaux communs exotiques présents dans les marais artificiels déjà existants n'ont pas à être remplacés, mais tout agrandissement d'un marais artificiel existant doit être effectué avec des plantes non envahissantes.**

### 5.3.3 Rendement

Le rendement moyen calculé à partir de 71 systèmes de marais artificiels à écoulement horizontal sous la surface utilisés comme traitement secondaire au Danemark a été publié dans Kadlec et Knight (1996) à partir d'une base de données compilées par Schierup en 1990. Ces marais étaient typiquement précédés d'un système de traitement primaire

rudimentaire. Les résultats sont présentés au tableau 5.4. Le taux de charge hydraulique moyen appliqué à ces installations était de 5 cm/d (50 L/m<sup>2</sup>.d).

**Tableau 5.4 Rendement moyen de marais à écoulement horizontal sous la surface au Danemark**

Paramètre	Concentration (mg/L)	
	Affluent	Effluent
DBO <sub>5</sub>	128	18
MES	163	27
N <sub>T</sub>	36,7	21,0
NH <sub>4</sub>	21,0	14,1
NO <sub>x</sub>	4,1	2,0
P <sub>T</sub>	9,1	5,8

Au Québec, un projet de démonstration à la Biosphère de Montréal a fait l'objet d'un suivi sur 3 ans (IRVB, 1998). Le taux de charge hydraulique moyen a été de 2,4 cm/d (24 L/m<sup>2</sup>.d). Le rendement moyen atteint par les unités à écoulement horizontal sous la surface est résumé au tableau 5.5.

**Tableau 5.5 Rendement moyen des marais à écoulement horizontal sous la surface de la Biosphère de Montréal**

Paramètre	Concentration (mg/L sauf si indiqué)	
	Effluent de la fosse septique	Effluent des marais à écoulement horizontal sous la surface
DBO <sub>5</sub>	132	20
MES	66	13
NTK	76	38
NH <sub>4</sub>	68	34
P <sub>T</sub>	9,6	3,1
Coliformes fécaux	1,0 x 10 <sup>6</sup> UFC/100 mL	1,5 x 10 <sup>3</sup> UFC/100 mL

D'autres auteurs, rapportent également d'excellents rendements de marais artificiels à écoulement sous la surface, notamment Geller (1997), qui a compilé des résultats d'installations dans les pays germaniques.

Le rendement pour le rabattement de coliformes fécaux selon la littérature est de l'ordre de deux unités logarithmiques, ou une concentration à l'effluent de l'ordre de 10<sup>3</sup> à 10<sup>4</sup>

UFC/100 mL (Burgan et Sievers, 1994, Rivera *et al.*, 1995, Gersberg *et al.*, 1989, Mankin et Powell, 1998).

Sur la base des renseignements ci-dessus, le rendement typique de marais artificiels est de l'ordre de 20 à 25 mg/L en DBO<sub>5</sub>C, 20 à 30 mg/L de MES et 10<sup>4</sup> UFC/100 mL pour les coliformes fécaux.

Une attention doit cependant être portée à l'aspect hydraulique car ces rendements peuvent être réduits en cas d'écoulement préférentiel à la surface du milieu. C'est particulièrement le cas pour le rendement en rabattement des coliformes fécaux.

#### **5.4 LITS DE ROSEAUX À ÉCOULEMENT VERTICAL**

**Avis : Compte tenu du caractère envahissant du roseau commun exotique (*Phragmites australis*), le Ministère n'autorise plus de nouveaux systèmes de marais artificiels utilisant cette plante. Seuls les marais artificiels utilisant des plantes non envahissantes peuvent être implantés au Québec. De plus, puisque les informations contenues dans la présente section concernent principalement des systèmes utilisant les roseaux, le concepteur devra adapter son projet selon le type de plantes utilisé.**

##### **5.4.1 Traitement préalable**

Les lits de roseaux à écoulement vertical sont précédés d'un système de traitement primaire, généralement une fosse septique.

##### **5.4.2 Critères de conception**

###### **Approche générale**

Les lits de roseaux à écoulement vertical s'apparentent à la fois aux filtres à sable intermittents et aux lits bactériens constitués de pierre. La grosseur du milieu filtrant des lits de roseaux se situe quelque part entre celle du sable des filtres à sable et celle de la pierre des lits bactériens. Les lits de roseaux à écoulement vertical comportent toutefois certaines particularités comme la présence des racines et des rhizomes des plantes dans le milieu. L'alimentation des lits de roseaux en rotation sur des périodes de 1 ou 2 jours entrecoupées de périodes de repos de 3 à 6 jours est également particulier.

L'approche utilisée pour la conception des filtres à sable est empirique et basée sur un taux de charge hydraulique à long terme déterminé à partir de l'expérience acquise sur de nombreuses installations. Ces critères empiriques ne peuvent être transposés à des milieux et modes d'alimentation différents. Divers modèles mathématiques basés sur le taux de charge hydraulique, la hauteur du filtre et des constantes spécifiques au milieu ont été utilisés pour la conception des lits bactériens. Aucune étude scientifique ne permet de transposer l'application de ces modèles à la conception des lits de roseaux.

## **Superficie des lits utilisés comme premier stade de traitement secondaire**

L'approche de conception retenue est celle basée sur des critères empiriques tels que proposés dans le guide intitulé *Systèmes de traitement des eaux usées par marais artificiels* (Les Consultants RSA, 1993). Elle correspond également à celle proposée dans *European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems* (EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, 1990). Le stade de traitement par lits de roseaux à écoulement vertical recevant l'effluent d'un système de traitement primaire ou fosse septique est composé de quatre unités en parallèle. La superficie totale pour l'ensemble des quatre unités est calculée pour obtenir un taux de charge hydraulique moyen de 0,2 m/d (200 L/m<sup>2</sup>.d). Chacune des unités étant alimentée en rotation, elles seront donc alimentées à un taux quotidien de 0,8 m/d (800 L/m<sup>2</sup>.d). La charge organique moyenne par rapport à la superficie totale des quatre unités est limitée à 40 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d en réduisant le taux de charge hydraulique en conséquence si la concentration des eaux usées appliquées dépasse 200 mg/L de DBO<sub>5</sub>.

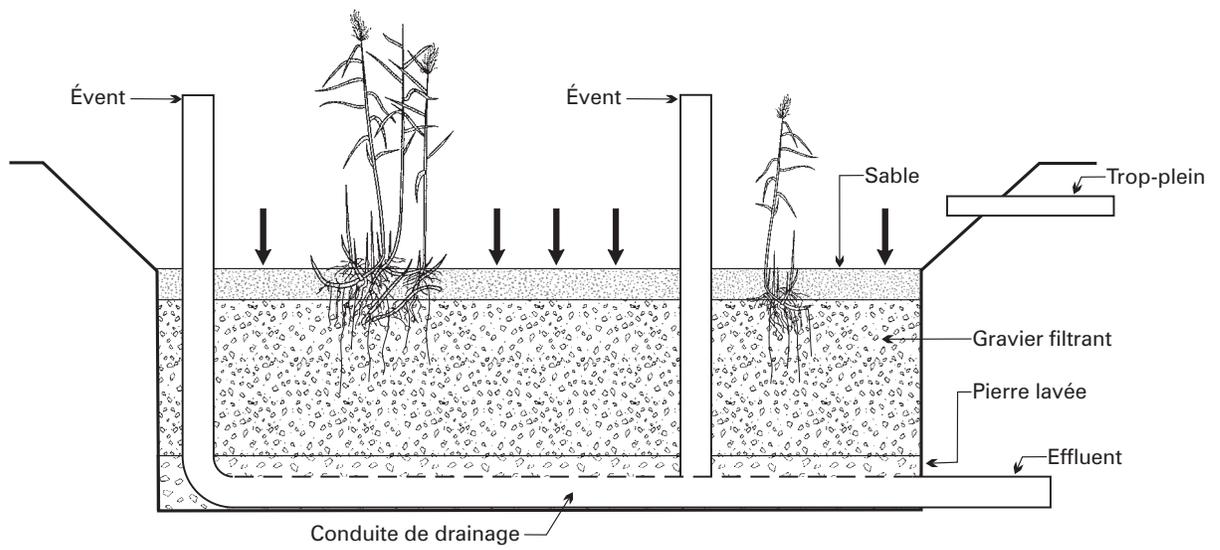
## **Couches de milieu et profondeur du lit dans un premier stade de traitement secondaire**

Le guide *Systèmes de traitement des eaux usées par marais artificiels* (Les Consultants RSA, 1993) recommande une épaisseur de 800 mm de milieu filtrant en plus d'une couche de pierre lavée placée au fond du lit pour en faciliter le drainage. À la lumière de l'expérience européenne (EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, 1990, Boutin *et al.*, 1999, Boutin *et al.*, 1997), où les lits de roseaux à écoulement vertical ont une épaisseur moindre, une épaisseur totale de milieu réduite à 600 mm, incluant la couche de sable, paraît acceptable.

Le lit est constitué de la façon suivante, en commençant par la couche du fond :

- 200 à 300 mm d'épaisseur de couche de pierre lavée d'au moins 10 mm de diamètre;
- 500 à 700 mm d'épaisseur de gravier filtrant ou de pierre lavée de 5 mm et plus de diamètre et d'une conductivité hydraulique de l'ordre de  $5 \times 10^{-1}$  à 5 cm/s;
- 100 mm de sable filtrant d'une conductivité hydraulique de  $1 \times 10^{-3}$  à  $5 \times 10^{-3}$  cm/s en surface.

La couche de sable en surface vise à ralentir l'écoulement lors des dosages pour favoriser une meilleure répartition des eaux usées sur la surface du filtre. Les caractéristiques du sable recommandées dans le guide *Systèmes de traitement des eaux usées par marais artificiels* (Les Consultants RSA, 1993) sont un diamètre  $D_{50}$  de l'ordre de 0,4 à 0,6 mm ou plus et un coefficient d'uniformité  $C_U$  inférieur à 4. Ces caractéristiques peuvent être considérées comme équivalentes à celles du sable filtrant recommandé pour les filtres à sable. L'utilisation de pierre ou de gravier concassé n'est pas recommandée car les formes anguleuses risqueraient de nuire aux plantes.



**Figure 5.6 Lit de roseaux à écoulement vertical**

Il est important de s'assurer qu'il n'y a pas de migration des particules dans la couche sous-jacente plus grossière et que la conductivité hydraulique relative est suffisante entre les matériaux. Les caractéristiques granulométriques des couches de matériaux doivent respecter les critères suivants :

- $D_{15}$  du matériau grossier  $< D_{85}$  du matériau fin;
- $D_{50}$  du matériau grossier  $< 25 D_{50}$  du matériau fin;
- $D_{15}$  du matériau grossier  $> 5 D_{15}$  du matériau fin.

La couche de gravier ou de pierre du milieu doit être divisée en couches de caractéristiques différentes, au besoin, pour respecter ces critères.

### **Superficie des lits utilisés comme deuxième stade de traitement secondaire**

Le taux de charge hydraulique généralement recommandé pour des lits de roseaux à écoulement vertical utilisés comme deuxième stade de traitement secondaire est le double de celui recommandé au premier stade (EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, 1990, Boutin *et al.*, 1999). Le nombre d'unités en parallèle peut alors être réduit à deux au lieu de quatre.

### **Couches de milieu et profondeur du lit dans un deuxième stade de traitement secondaire**

L'épaisseur totale du milieu filtrant peut être la même que pour le premier stade de traitement. Il est cependant recommandé d'utiliser un milieu plus fin pour permettre un enlèvement additionnel des matières polluantes lorsque les lits de roseaux à écoulement vertical sont utilisés comme deuxième et dernier stade de traitement secondaire à la place de marais à écoulement horizontal sous la surface. Le milieu utilisé dans les filtres en France (Boutin *et al.*, 1999) est divisé en deux couches, le sable constituant alors une portion importante du milieu et non seulement une mince couche de surface, l'autre couche étant constituée de gravier. À la lumière des essais réalisés avec des unités pilotes à Alma, au Québec, de 1994 à 1997 (Les Consultants RSA, 1999), où des lits de roseaux à écoulement vertical dont le milieu filtrant était constitué uniquement d'une couche de sable recevait l'effluent d'étangs aérés de 600 mm d'épaisseur, une telle approche pourrait aussi être considérée dans un deuxième stade vertical servant comme traitement de finition.

### **Alimentation des lits de roseaux**

L'alimentation des unités se fait en rotation sur une période de 4 à 8 jours. Une unité est alimentée pendant 1 ou 2 jours, puis est ensuite mise au repos pour une période de 3 à 6 jours. L'unité suivante est alors alimentée pendant 1 à 2 jours jusqu'à ce que chaque unité ait été alimentée; on recommence ensuite le cycle.

Pendant la période de 1 à 2 jours où une unité est alimentée, les eaux usées sont acheminées sur le lit de roseaux de façon intermittente par un dispositif de chasse d'eau (pompes ou autres) de façon à inonder rapidement la surface pour assurer une bonne répartition des eaux usées à la grandeur du lit d'une part, et assurer un apport en oxygène entre chaque dose d'eaux usées d'autre part. Le débit quotidien est acheminé sur le lit en environ 8 à 40 doses par jour, à un volume équivalent à une hauteur d'eau de 20 à 100 mm sur la surface d'une unité. Une dose est acheminée sur une période ne dépassant pas 10 à 15 minutes.

Divers systèmes de distribution peuvent être envisagés, mais il faut s'assurer que le système demeure fonctionnel dans les conditions soutenues de froid intense qui se produisent l'hiver au Québec. Le système proposé dans le guide intitulé *Systèmes de traitement des eaux usées par marais artificiels* (Les Consultants RSA, 1993) consiste à placer des conduites verticales se terminant en surface par un cône inversé à tous les 50 m<sup>2</sup>. Considérant la répartition inégale des eaux usées observée au Zoo de Saint-Félicien et à Saint-Henri-de-Taillon, il y aurait lieu d'envisager un autre type de système de distribution comme le système à alimentation intermittente par chasse d'eau ou le système de distribution sous faible pression recommandés pour les éléments épurateurs ou les filtres intermittents. Les conduites doivent alors être protégées des rayons ultraviolets et doivent se vider après chaque dosage pour prévenir le gel.

### **Collecte de l'effluent**

La collecte de l'effluent se fait au moyen de conduites de drainage munies d'orifices ou de fentes, et placées dans la couche de pierre de drainage, comme pour les filtres à sable intermittents ou les filtres à recirculation.

Bien que les lits de roseaux à écoulement vertical soient normalement exploités en mode de lit ruisselant, donc non noyés, des chambres d'ajustement du niveau sont nécessaires à la sortie des unités afin de pouvoir maintenir un niveau d'eau dans le filtre ou noyer le filtre au besoin pour permettre de gérer la croissance des plantes.

### **Aération**

L'apport d'oxygène dans le filtre est favorisé au moyen de conduites verticales non perforées qui sont reliées aux conduites de drainage ou grâce à une section perforée située dans la couche de pierre de drainage. Des conduites de ce genre sont installées à tous les 4 à 16 m<sup>2</sup> (Les Consultants RSA, 1993, EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, 1990).

## **Terrassement et digues**

Le fond du lit peut être de niveau ou comporter une légère pente vers la sortie pour en faciliter le drainage. La surface du lit doit être bien nivelée et parfaitement horizontale afin de permettre une distribution uniforme des eaux usées sur toute la surface du lit.

Les parois du lit doivent être aussi verticales que possible entre le fond et la surface du milieu filtrant.

Une revanche de 500 à 600 mm est prévue au-dessus de la surface du milieu filtrant. Un trop-plein d'urgence est recommandé pour protéger les digues, surtout si le système de traitement est susceptible de recevoir des eaux de captage.

## **Plantes**

Les plantes utilisées dans les lits de roseaux à écoulement vertical sont des phragmites. La mise en place initiale se fait à une densité d'environ 4 plants par mètre carré.

### **5.4.3 Rendement**

Comme indiqué précédemment, la conception des lits de roseaux à écoulement vertical est basée sur des critères empiriques et non sur l'application de modèles mathématiques. Le rendement attendu est donc basé sur les résultats publiés dans la littérature et provenant d'applications existantes ailleurs.

#### **Rendement des lits utilisés comme premier stade de traitement secondaire**

Les applications les plus documentées sont celle d'Oaklands Park en Grande-Bretagne (EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, 1990), ainsi que les installations de Montromant et Gensac la Pallue en France (Boutin *et al.*, 1997, Boutin *et al.*, 1999). Le rendement attendu d'un lit de roseaux utilisé comme premier stade de traitement secondaire pour des eaux usées domestiques typiques après une fosse septique est la suivante :

- DBO<sub>5</sub> 80 % d'enlèvement l'été;
- MES 80 % d'enlèvement.

Au Québec, les conditions climatiques sont plus rigoureuses l'hiver. La littérature relative aux marais artificiels ne permet pas d'évaluer une baisse de rendement en hiver. Le suivi de marais à écoulement horizontal sous la surface a plutôt indiqué le contraire. À défaut de données représentatives des lits de roseaux à écoulement vertical ou d'autres types de

marais artificiels au Québec, il y a quand même lieu d'adopter une approche prudente. On considère qu'on pourrait avoir un enlèvement moindre de la DBO<sub>5</sub> comme c'est le cas pour d'autres systèmes de traitement biologique expansifs. Il est réaliste de considérer de façon préliminaire une baisse de rendement équivalent à celui normalement prévu pour des étangs aérés de niveau de rendement équivalent, soit :

- DBO<sub>5</sub> 60 % d'enlèvement l'hiver.

### **Rendement des systèmes de traitement secondaire à deux stades**

Sur la base des résultats des installations nommées ci-dessus, un système de traitement secondaire constitué de deux stades successifs de lits de roseaux à écoulement vertical permet d'atteindre un effluent de 20 mg/L ou moins de DBO<sub>5</sub> et de MES à l'effluent.

On peut aussi s'attendre à un rabattement des coliformes fécaux du même ordre que dans d'autres types de filtres intermittents ou dans des marais artificiels à écoulement horizontal sous la surface. Ce rendement reste à confirmer compte tenu des données disponibles trop limitées actuellement.

## **5.5 SYSTÈMES HYBRIDES**

Les systèmes hybrides sont des systèmes de traitement par marais artificiels composés d'un premier stade de traitement secondaire constitué de lits de roseaux à écoulement vertical et d'un deuxième stade de traitement secondaire constitué d'unités de marais artificiels à écoulement horizontal sous la surface.

Les caractéristiques de ces deux stades de traitement sont celles décrites aux sections 5.3 et 5.4.

Le rendement est au moins équivalent à celui d'un traitement secondaire par marais à écoulement sous la surface prévu à la section 5.3.3.

Un meilleur rendement peut être atteint dans la mesure où la qualité de l'effluent du premier stade à écoulement vertical peut être meilleure que la qualité d'affluent indiquée à la section 5.3.3. Il est toutefois difficile de chiffrer un rendement meilleur que celui indiqué dans cette même section compte tenu de la rareté de données disponibles.

## **5.6 INSTALLATION**

Les caractéristiques générales ci-dessous relatives à l'installation des marais artificiels peuvent s'appliquer aux différents types de marais.

## **Imperméabilisation**

Si le sol dans lequel les marais sont établis est trop perméable, le fond et les parois doivent être imperméabilisés au moyen d'une membrane d'argile, d'une géomembrane ou d'autre chose du genre. L'imperméabilisation a pour but de prévenir la contamination et d'assurer la rétention d'eau requise pour la plantation et le maintien de la végétation. L'imperméabilisation n'est généralement pas requise si la conductivité hydraulique du sol en place est de l'ordre de  $10^{-6}$  cm/s ou moins (EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group, 1990).

## **Mise en place des matériaux**

Les matériaux filtrants doivent être mis en place à partir de l'extérieur des lits ou en utilisant des équipements légers pour en éviter la compaction. Les caractéristiques granulométriques des matériaux doivent être vérifiées. Une attention particulière doit être apportée pour s'assurer qu'il n'y a pas ségrégation des matériaux lors de leur mise en place. La surface des lits doit être bien nivelée pour assurer une bonne répartition des eaux usées et prévenir les risques d'écoulement préférentiel.

## **Accès au site**

Il faut indiquer clairement qu'il s'agit d'une zone de traitement d'eaux usées et il y a lieu de clôturer l'installation s'il s'agit d'un endroit accessible par le public.

## **5.7 EXPLOITATION**

La fosse septique utilisée comme prétraitement doit être inspectée et entretenue comme c'est le cas pour les installations septiques ou les filtres intermittents.

Un suivi de la qualité de l'effluent doit être effectué conformément aux exigences pour un projet standard prévues à l'annexe 4 du *Guide de présentation des demandes d'autorisation pour les systèmes de traitement des eaux usées d'origine domestique*.

Le bon fonctionnement du dispositif de distribution des eaux usées, sur toute la largeur du marais dans le cas d'un système à écoulement horizontal ou sur toute la superficie du lit dans le cas d'un système à écoulement vertical, doit être vérifié régulièrement. Un nettoyage des conduites doit être effectué si requis. Si des zones d'eau stagnantes sont constatées, des corrections doivent être apportées. Dans le cas de lits alimentés en alternance, il faut s'assurer que chaque lit reçoit à peu près la même quantité d'eaux usées.

L'état de la végétation doit être inspecté régulièrement. Des corrections doivent être apportées si certaines zones ne sont pas couvertes de plantes. Une attention particulière doit

être apportée pendant la période de plantation des plantes, surtout la première année. Certaines interventions peuvent être requises comme un rehaussement du niveau d'eau en surface pour enrayer les plantes non désirées ou une baisse du niveau pour favoriser une bonne croissance des racines en profondeur. Il est souhaitable que la reprise des plantes et leur entretien pendant cette période soient assurés par l'entrepreneur responsable de la plantation. Il n'est généralement pas recommandé de faucher les plantes des marais. À long terme, la litière et les solides accumulés peuvent devoir être enlevés.

Le niveau d'eau dans les marais doit être vérifié régulièrement. Dans le cas des marais à écoulement horizontal sous la surface, il peut être requis de rehausser le niveau de sortie pour maintenir le niveau d'eau dans les marais en période prolongée de faible débit. À l'opposé, le niveau de sortie peut devoir être abaissé en période prolongée de débit élevé entraînant une accumulation d'eau en surface. En cas de perte de niveau d'eau dans des marais à écoulement horizontal, l'étanchéité doit être vérifiée et des corrections doivent être apportées s'il y a lieu.

Un entretien des digues (fauchage ou tonte) est recommandé. L'état des digues doit être vérifié afin d'apporter des corrections en cas d'érosion ou de bris par des petits animaux.

Il est de la responsabilité du concepteur de préparer un manuel d'exploitation pour permettre à l'exploitant de bien comprendre le fonctionnement du système, de l'informer sur les tâches d'entretien et leur fréquence ainsi que sur la gestion des plantes et du niveau d'eau.

## SOMMAIRE – MARAIS ARTIFICIELS

Types de marais – application	Tableau 5.1
<p>Marais à écoulement en surface</p> <p>Traitement préalable</p> <p>Méthode de conception</p> <p>Hauteur d'eau</p> <p>Rapport longueur/largeur minimum</p> <p>Dispositif de sortie</p>	<p>Figure 5.2</p> <p>Traitement secondaire</p> <p>Équations 5.1 à 5.3 ou équations 5.4 à 5.6</p> <p>0,15 à 0,45 m</p> <p>2:1</p> <p>Ajustable à partir du fond jusqu'à une hauteur de 0,6 m</p>
<p>Marais à écoulement horizontal sous la surface</p> <p>Traitement préalable</p> <p>Méthode de conception</p> <p>Hauteur d'eau à l'entrée</p> <p>Épaisseur de milieu à l'entrée</p> <p>Milieu filtrant</p> <p>Longueur d'écoulement</p> <p>Dispositif d'entrée</p> <p>Dispositif de sortie</p>	<p>Figure 5.4</p> <p>Fosse septique</p> <p>Marais à écoulement vertical ou traitement supplémentaire requis si effluent de fosse septique &gt; 100 mg/L DBO<sub>5</sub></p> <p>Équation 5.7 ou équations 5.4 à 5.6</p> <p>0,6 m</p> <p>0,7 m</p> <p>Sable et gravier</p> <p>Conductivité hydraulique <math>\geq 10^{-1}</math> cm/s</p> <p>Loi de Darcy</p> <p>Minimum 3,0 m</p> <p>Tranchée de pierre</p> <p>Tranchée de pierre et chambre d'ajustement du niveau (ajustable à partir du fond jusqu'à une hauteur de 0,2 m au-dessus du sol)</p>

<p>Lits de roseaux à écoulement vertical<sup>1</sup></p> <p>Traitement préalable</p> <p>Nombre d'unités en parallèle</p> <p>Alimentation</p> <p>Taux de charge hydraulique moyen</p> <p>Taux de charge hydraulique quotidien sur l'unité alimentée</p> <p>Taux de charge organique moyen</p> <p>Composition du lit (à partir du fond)</p>	<p>Figure 5.6</p> <p>Fosse septique</p> <p>4</p> <p>Une unité à la fois en rotation</p> <p>200 L/m<sup>2</sup>.d</p> <p>800 L/m<sup>2</sup>.d</p> <p>40 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 200 à 300 mm de pierre ≥ 10 mm φ</li> <li>- 500 à 700 mm de gravier filtrant ou pierre ≥ 5 mm φ et conductivité hydraulique entre 5 x 10<sup>-1</sup> et 5 cm/s (milieu plus fin si 2<sup>e</sup> et dernier stade)</li> <li>- 100 mm de sable de conductivité hydraulique entre 1 x 10<sup>-3</sup> et 5 x 10<sup>-3</sup></li> <li>- vérification de la loi des filtres entre les couches</li> </ul>
<p>Systemes hybrides</p>	<p>Marais à écoulement vertical suivi de marais à écoulement horizontal sous la surface</p>

<sup>1</sup> Compte tenu du caractère envahissant du roseau commun exotique (*Phragmites australis*), le Ministère n'autorise plus de nouveaux systèmes de marais artificiels utilisant cette plante. Seuls les marais artificiels utilisant des plantes non envahissantes peuvent être implantés au Québec. Les roseaux communs exotiques présents dans les marais artificiels déjà existants n'ont pas à être remplacés, mais tout agrandissement d'un marais artificiel existant doit être effectué avec des plantes non envahissantes.