



LES MARAIS FILTRANTS (EAUX USÉES)

Mise à jour le 28 mai 2014

Société québécoise de phytotechnologie - info@phytotechno.com
2030, Boul. Pie-IX, bureau 403, Montréal (Québec) H1V 2C8

PHYTOTECHNO.COM



En bref

LES MARAIS FILTRANTS

Les marais filtrants artificiels (*treatment wetlands* ou *constructed wetlands* en anglais) sont des écosystèmes recréés artificiellement afin de traiter une large gamme d'eaux usées, dont des effluents municipaux, industriels et agricoles.

L'épuration des eaux usées en marais filtrants se fait selon une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques. Les plantes jouent un rôle essentiel en marais filtrant, notamment en favorisant le développement des micro-organismes et en oxygénant le milieu.

Comparativement aux systèmes conventionnels de traitement des eaux usées, les marais filtrants ont un faible coût d'installation et d'exploitation et ne nécessitent aucun produit chimique et peu ou pas d'énergie. De plus, ils offrent un habitat pour la faune et bénéficient d'une grande acceptabilité sociale.

1.0 HISTORIQUE

Les marais naturels ont été utilisés comme lieu de déversement des eaux usées depuis fort longtemps, mais ce n'est qu'au 20^e siècle que des marais filtrants artificiels ont été conçus pour traiter l'eau usée en s'inspirant des processus naturels de filtration. Le premier concept documenté de marais filtrants artificiels date de 1901 par le dépôt aux États-Unis d'un brevet par Cléophas Monjeau portant sur la purification de l'eau par un système utilisant des végétaux. Toutefois, il n'existe aucune preuve que ce système ait été testé ou mis en application. Les marais filtrants artificiels actuels sont principalement basés sur les recherches effectuées à partir des années 1950 par Dr. Käthe Seidel de l'Institut Max Planck à Plön en Allemagne.

Pionnière dans le domaine des phytotechnologies, elle a notamment testé l'efficacité des marais filtrants pour l'épuration des eaux usées en milieu rural, dont les rejets de ferme laitière et d'élevage d'animaux. Dr. Seidel est aussi crédité pour avoir inventé les divers types de marais filtrants que nous connaissons aujourd'hui, dont les marais surfaciques et sous-surfaciques, ainsi que des variantes comme les marais hybrides et les lits de séchage de boue plantés de macrophytes. Au cours des années 1970, le Dr Reinhold Kickuth de l'Université de Göttingen en Allemagne développe un procédé de marais filtrant connu sous le nom de « *Root Zone Method* ». Ce système diffère des systèmes sous-surfaciques du Dr Seidel par le fait que le substrat du marais est composé de terre au lieu de sable et de gravier.

L'un des premiers marais filtrant à grande échelle fût construit selon cette méthode dans la région de Liebenburg-Othfresen en Allemagne en 1974. Toutefois, le fait que la terre constitue un substrat moins poreux entraîne après un certain temps un colmatage et un mauvais fonctionnement du système. Cette contrainte n'empêche pas la technologie des marais filtrants de se développer et de se répandre au cours des années 1970 et 1980. Le concept de marais filtrants est introduit au Royaume-Uni en 1985, mais le design fût changé et la terre fût remplacée par du gravier, comme l'avait initialement suggéré le Dr. Seidel, et ce type de système fût dès lors favorisé. Depuis les années 1990, les marais filtrants ont pris un véritable essor, favorisés par les échanges entre les scientifiques et les chercheurs du monde entier.

Au Québec, les premiers marais filtrants firent leur apparition dans les années 90. Les eaux usées de la Biosphère, un musée sur l'environnement situé sur l'île Sainte-Hélène près de Montréal, sont traitées depuis son ouverture en 1995 par un marais multiétage qui s'inspire du gradient naturel d'un milieu humide. Aujourd'hui, on trouve plus d'une centaine de marais filtrants au Québec, allant de la petite unité traitant l'eau d'un domicile, jusqu'au marais de grande taille traitant l'eau de toute une municipalité.

2.0 DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE

Les marais filtrants artificiels (*treatment wetlands* ou *constructed wetlands* en anglais) sont des écosystèmes recréés artificiellement pour le traitement des eaux usées. Mettant à profit les interactions entre le sol, les plantes et les microorganismes, les marais filtrants sont des systèmes nécessitant peu d'énergie et offrant une solution durable à l'épuration des eaux. De plus, comparativement aux procédés traditionnels, les marais filtrants ont généralement un faible coût d'installation et d'exploitation, une facilité d'utilisation ainsi qu'une bonne intégration dans le paysage. Bien que la vaste majorité des marais filtrants artificiels traitent des eaux usées domestiques, ils sont aussi utilisés pour le traitement d'une large gamme d'eaux usées de différentes origines : effluent de papeterie, rejet de mine, pisciculture, ferme laitière, lixiviat de dépotoir, etc.

3.0 FONCTIONNEMENT

3.1 TYPES DE MARAIS FILTRANTS

3.1.1 TYPES DE MARAIS FILTRANTS

Un marais filtrant est constitué d'un bassin, avec ou sans substrat, avec des plantes flottantes ou enracinées, un système d'apport d'eaux usées et un système d'évacuation de l'eau traitée. On peut classer les marais filtrants selon le type d'écoulement et selon que l'eau soit libre ou sous la surface du substrat.

I. Marais filtrant surfacique à flux horizontal

Ce type de marais est caractérisé par un bassin d'eau libre où les plantes peuvent être flottantes ou enracinées en fond de bassin (*Figure I a-b*). Le marais est dit surfacique à flux horizontal puisque l'eau passe principalement au-dessus de la surface du sol et le flux se fait horizontalement de l'entrée vers la sortie du bassin. Ce type de marais a l'avantage d'être le moins coûteux à construire et le plus facile à opérer. Par contre, il est moins efficace et exige donc une plus grande superficie pour traiter un même débit comparativement aux autres types de marais filtrants. Le marais filtrant surfacique à flux horizontal est plus approprié pour les milieux tropicaux et subtropicaux, car il peut y être en opération toute l'année. En climat froid, et notamment au Québec, on peut utiliser ce type de marais pendant la saison estivale, ou en serre pendant toute l'année.

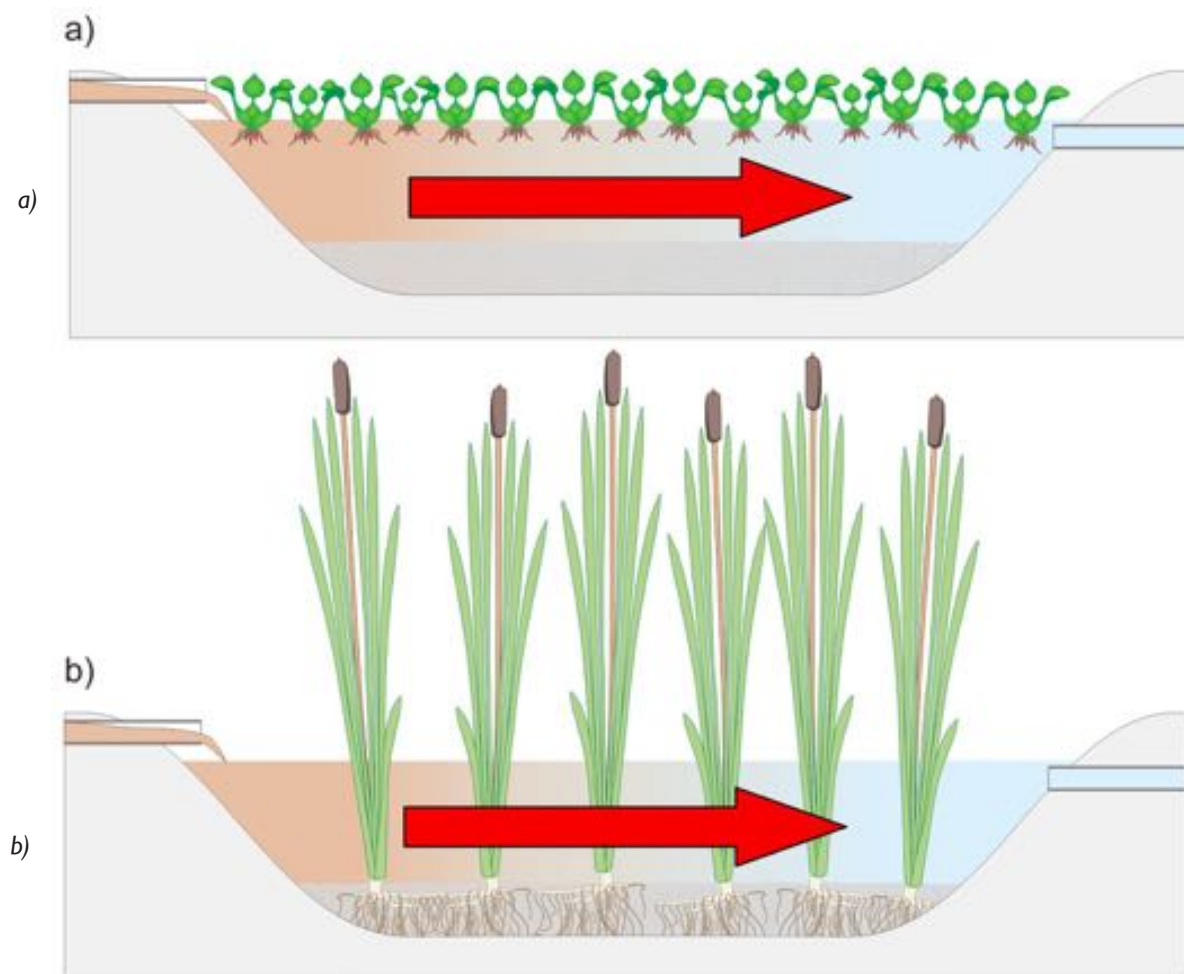


Figure I

*Vue en coupe d'un marais surfacique à flux horizontal
a) à plantes flottantes b) à plantes enracinées.*

Illustration, Vincent Gagnon.

2. Marais filtrant sous-surfacique à flux horizontal

Ce type de marais est constitué d'un lit de gravier enraciné de plantes et dont l'apport en effluent se fait par écoulement horizontal sous la surface du marais (**Figure 2**). Les marais sous-surfaciques horizontaux possèdent des zones avec de faibles quantités d'oxygène dissous (anoxie) et d'autres bien oxygénées (aérobie), ce qui facilite l'élimination de l'azote. Toutefois, afin de limiter le colmatage du marais, un prétraitement des eaux usées (fosse septique, bassin de sédimentation) est parfois nécessaire lorsque l'eau usée contient beaucoup de particules en suspension. Ce type de système a l'avantage de pouvoir être utilisé en climat froid, car l'effluent passe sous la surface du marais et est ainsi protégé contre les basses températures de l'air ambiant. La vaste majorité des marais filtrants en opération au Québec sont de ce type.

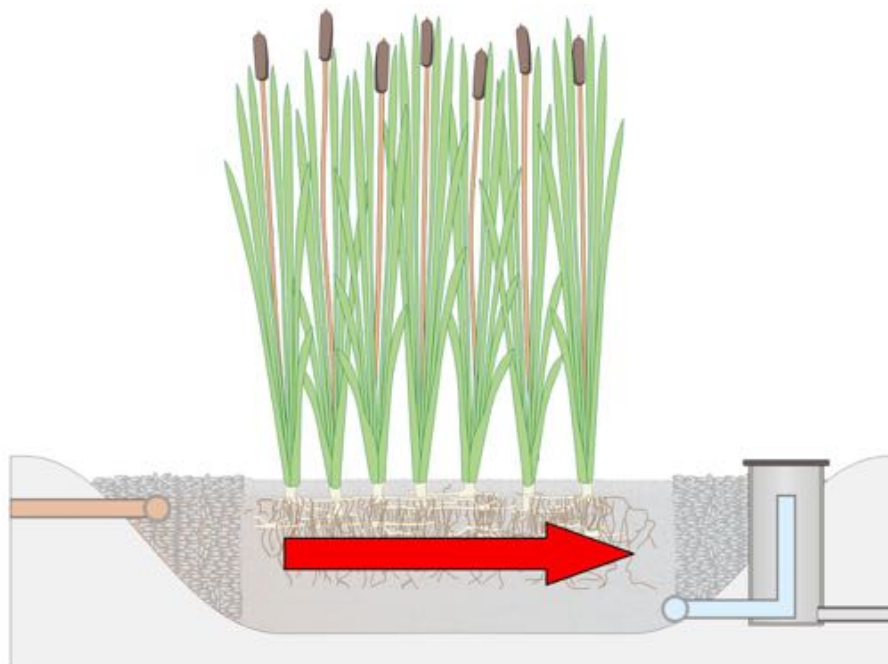


Figure 2

*Vue en coupe d'un marais sous-surfacique à flux horizontal.
Illustration, Vincent Gagnon.*

3. Marais filtrant sous-surfacique à flux vertical

Ce type de marais est constitué d'un lit de sable et/ou gravier, dont l'apport en effluent se fait verticalement par la percolation de l'eau usée au travers de la matrice plantée (**Figure 3**). Puisque le système n'est pas saturé d'eau, l'effluent est oxygéné par son passage dans le gravier, ce qui favorise la biodégradation de certains polluants. Toutefois, l'épuration peut être limitée par l'absence de zones anaérobies nécessaires pour certains processus de biodégradation (ex. : dénitrification). Ce type de marais artificiel a l'avantage d'être très efficace, ne nécessitant ainsi qu'une petite superficie pour le même niveau d'épuration, comparativement aux autres types de marais. Cependant, les marais à flux verticaux sont sensibles au gel en climat froid dû à la pénétration de l'air ambiant dans la matrice plantée, ainsi qu'au gel de la tuyauterie lors de l'alimentation. La majorité des systèmes de marais filtrants utilisés en France sont de ce type.

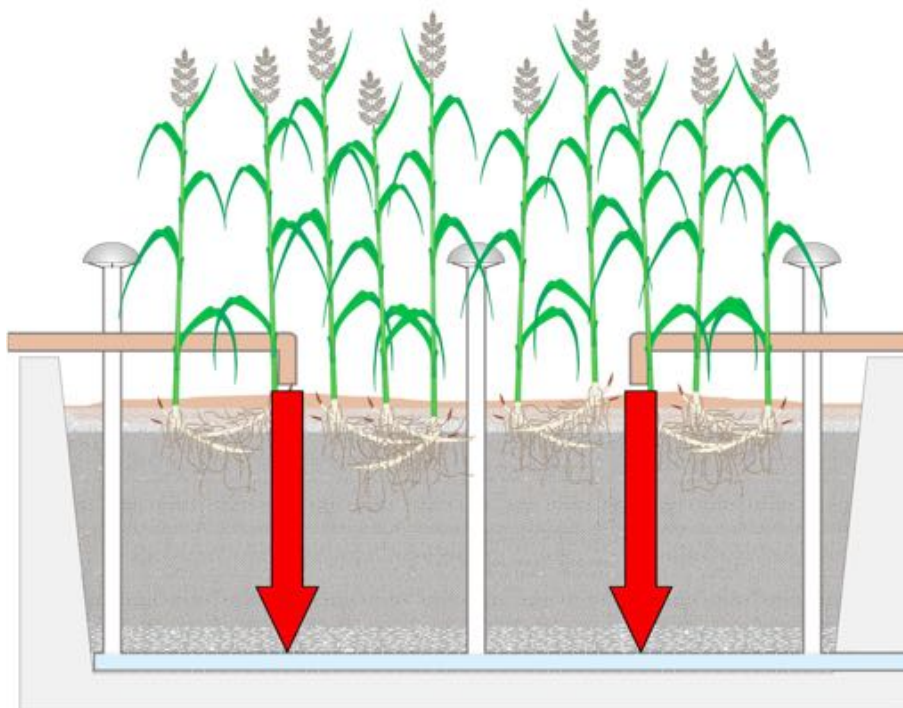


Figure 3

*Vue en coupe d'un marais sous surfacique à flux vertical.
Illustration, Vincent Gagnon.*

3.1.2 MARAIS HYBRIDE

Les marais filtrants hybrides combinent plusieurs types de marais filtrants en série. Le plus populaire est formé d'un marais filtrant à flux vertical suivi d'un marais à flux horizontal. La combinaison de plusieurs types de marais filtrants permet de tirer avantage des différents mécanismes d'épuration qui sont propres à chaque type de marais. Prenons comme exemple l'épuration des polluants azotés : le marais vertical par sa bonne aération permet la transformation de l'azote ammoniacal en nitrite et nitrate (nitrification), tandis que le marais horizontal permet la transformation des nitrates en azote gazeux (dénitrification) en raison des conditions anaérobiques de ce type de système.

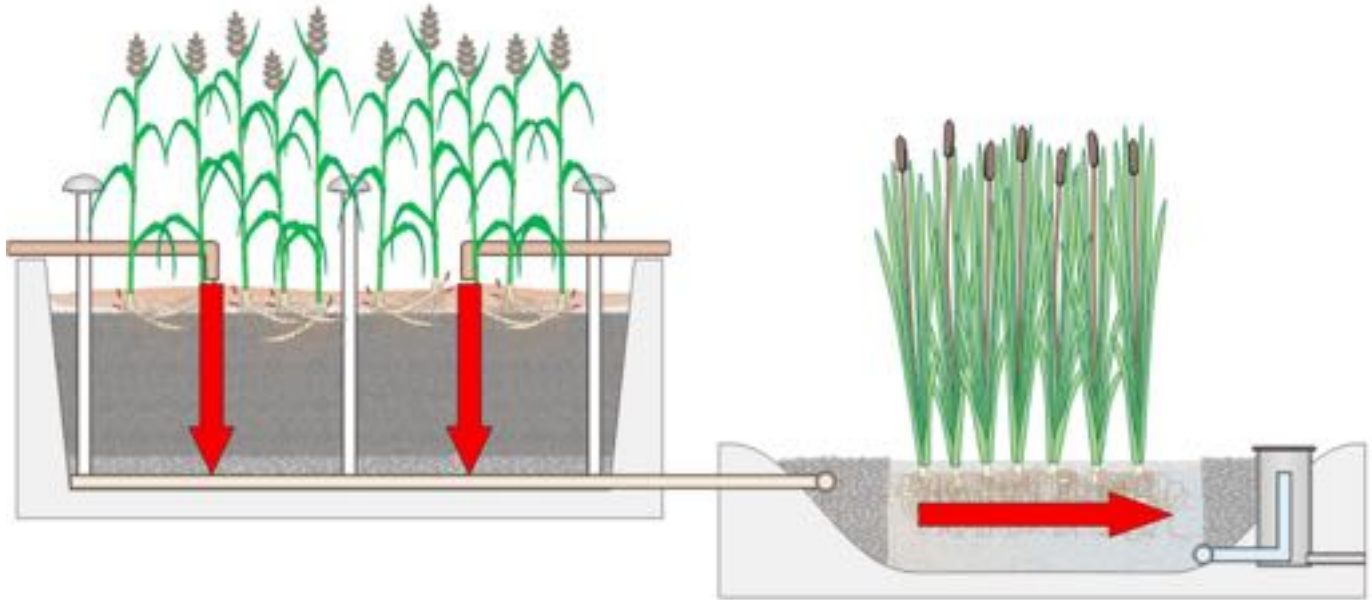


Figure 4

Vue en coupe d'un marais filtrant hybride avec la combinaison d'un marais sous-surface à flux vertical suivi d'un marais sous-surface à flux horizontal.

Illustration, Vincent Gagnon.

3.2 MÉCANISMES D'ENLÈVEMENT

Les principaux polluants contenus dans l'eau usée dépendent de leur origine (domestique, agricole, industrielle, etc.). Pour les eaux usées domestiques, les principaux polluants sont les matières en suspension, les organismes pathogènes, la matière organique, les substances azotées (nitrate, ammonium, etc.) et le phosphore. L'épuration des eaux usées en marais artificiels se fait selon une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques.

3.2.1 PROCESSUS PHYSIQUES

Lors du passage d'une eau usée au travers d'un marais artificiel, l'abattement des matières en suspension se fait par filtration grâce au gravier et aux racines ainsi que par la sédimentation des particules. La photolyse est un autre processus physique qui se déroule principalement en marais surfacique, où les radiations du soleil dégradent certains polluants et éliminent les bactéries pathogènes contenues dans les eaux usées.

3.2.2 PROCESSUS CHIMIQUES

Certains polluants, comme le phosphore et les métaux lourds, peuvent être adsorbés ou précipités par des éléments réactifs (Fe, Al, Ca, Mg) présents dans le gravier. Cependant, dû à la saturation avec le temps des sites de réaction, l'efficacité de ce mécanisme diminue avec l'âge du système.

3.2.3 PROCESSUS BIOLOGIQUES

3.2.3.1 Bioaccumulation des polluants dans le tissu des plantes

Certains polluants (ex.: N, P, Pb, Cu, Zn, Cd) peuvent être bio-accumulés dans le tissu des plantes et enlevés par la fauche saisonnière de la biomasse aérienne. Cependant, cette rétention des polluants dans la partie aérienne des plantes est généralement faible comparativement à l'apport de polluants apportés au marais.

3.2.3.2 Biodégradation des polluants par les microorganismes

L'épuration en marais filtrant artificiel se fait principalement par l'action des microorganismes. La biodégradation de la matière organique complexe se fait premièrement via des enzymes extracellulaires (protéases, cellulases, amylases, estérases, etc.) qui hydrolysent les macromolécules en des composés de plus petite taille, les rendant facilement assimilables par les microorganismes. Une fois assimilés, ces composés poursuivent leur biodégradation via les diverses voies de catabolisme microbien (respiration et fermentation) qui transforment les polluants en composés plus simples et généralement moins toxiques (ex.: H₂O, CO₂, CH₄, NO₃, N₂).

3.3 OPÉRATION ET ENTRETIEN

Les marais filtrants sont des systèmes autosuffisants qui nécessitent généralement peu d'effort opérationnel ou d'entretien.

L'opérateur doit toutefois s'assurer du bon fonctionnement des marais filtrants selon les points suivants :

Alimentation adéquate des marais

Les marais sont généralement alimentés automatiquement par des pompes, soit en continu ou par intermittence. L'alimentation peut aussi être effectuée par gravité si la topographie du site le permet. Une attention particulière doit être portée lors de l'établissement du système : le niveau d'eau doit être adéquatement maintenu après la plantation et il est suggéré d'alimenter initialement avec de l'eau moins chargée et d'augmenter la dose de polluants graduellement.

Suivi des performances épuratoires

La prise de données sur le volume et la concentration des polluants entrant et sortant des marais filtrants est essentielle afin d'évaluer l'efficacité du marais filtrant et de vérifier s'il répond aux normes environnementales. De plus, un suivi fréquent des polluants permet de détecter le début d'un dysfonctionnement et d'ajuster le système en conséquence.

La vitalité des plantes et le contrôle des mauvaises herbes

L'opérateur doit surveiller la vitalité des plantes, car celles-ci peuvent être attaquées par des champignons, des insectes et des herbivores. Un jaunissement ou une mortalité peuvent indiquer des troubles de fonctionnement comme un écoulement préférentiel, un niveau d'eau non optimal ou une surdose de polluants. L'établissement de mauvaises herbes peut aussi être problématique, particulièrement durant les premières années, lorsque le couvert végétal n'est pas totalement établi. Une attention particulière doit être portée à l'enlèvement systématique des semis d'arbres (ex : saule, peuplier), car leurs racines profondes peuvent perforer la membrane imperméable du marais filtrant.

Enlèvement des boues et décolmatage du système

Avec le temps, l'accumulation de matière dans les marais filtrants est inévitable et un entretien pourrait être nécessaire afin d'éviter le colmatage. L'enlèvement de la boue accumulée à la surface des marais à flux vertical ainsi que la boue au fond des marais surfaciques se fait assez facilement à l'aide d'une pelle mécanique. Toutefois, pour les marais sous-surfaciques à flux horizontal, il est nécessaire de remplacer le gravier dans la zone d'alimentation lorsque le colmatage du marais survient.

4.0 VÉGÉTAUX UTILISÉS (TYPES ET CARACTÉRISTIQUES)

Les plantes jouent un rôle essentiel en marais filtrant puisque la rhizosphère crée un milieu favorable au développement des microorganismes. Plus précisément, le système racinaire des plantes offre une surface pour l'établissement et la croissance des microorganismes ainsi qu'un milieu oxygéné et une source de carbone organique.

Les plantes utilisées en marais filtrants doivent être des plantes aquatiques ou bien des plantes adaptées au milieu humide. De plus, elles doivent répondre à plusieurs critères afin d'être utilisées en marais filtrant, dont :

- Tolérance à des concentrations élevées de polluants (composé toxique, pH, salinité, métaux)
- Facilité d'établissement (par ensemencement ou propagation par rhizome)
- Taux de croissance rapide
- Importante biomasse
- Adaptées au climat local
- Ne pas être une espèce envahissante dans la région d'implantation

Bien que la grande majorité des marais filtrants utilisent des plantes herbacées, certains systèmes utilisant des plantes ligneuses comme les saules ont été développés, notamment au Danemark.

TYPE DE PLANTE	NOM COMMUN	NOM LATIN
Plantes émergentes	Roseau commun ¹	<i>Phragmites australis</i>
	Quenouilles	<i>Typha</i> sp.
	Scirpes	<i>Scirpus</i> sp.
	Alpiste roseau ¹	<i>Phalaris arundinacea</i>
	Joncs	<i>Juncus</i> sp.
Plantes flottantes	Lentille d'eau	<i>Lemna</i> sp.
	Jacinthe d'eau ²	<i>Eichhornia crassipes</i>
	Nénuphars	<i>Nuphar</i> sp.
	Grenouillette ²	<i>Limnobium spongia</i>
Plantes aquatiques submergées	Élodée	<i>Elodea</i> sp.

¹ Plantes envahissantes dans le Québec méridional ² Plantes non rustiques au Québec

5.0 AVANTAGES ET LIMITES DES MARAIS FILTRANTS

Les marais filtrants offrent plusieurs avantages comparativement aux systèmes conventionnels de traitement des eaux usées, dont :

- Faible coût d'installation et d'exploitation
- Nécessitent peu ou pas d'énergie
- Aucune utilisation de produit chimique
- Pas besoin d'un personnel hautement spécialisé
- Offrent un habitat pour la faune
- Grande acceptabilité sociale

Les marais filtrants ont par contre certaines limitations, dont :

- L'épuration des eaux est optimale seulement après l'établissement des plantes (1 à 2 ans)
- Nécessitent une superficie plus importante que les systèmes conventionnels
- Le traitement du phosphore diminue avec le temps

6.0 EXEMPLES DE MARAIS FILTRANTS

Sommaire

- A. Auberge Le Baluchon (Québec)
- B. La Biosphère de Montréal (Québec)
- C. Village de Roussillon (France)

Note

Ces exemples ne sont présentés qu'à titre informatif, et cette sélection ne constitue pas un quelconque jugement de valeur de la SQP sur les systèmes choisis.

A. AUBERGE LE BALUCHON, ST-PAULIN (QUÉBEC)

La filière de traitement des eaux usées implantée à l'Auberge Le Baluchon en 2007 traite l'ensemble des eaux du centre de villégiature (135 m³ par jour). Les eaux de cuisine fortement chargées sont d'abord traitées à l'aide d'un bioréacteur pour ensuite rejoindre les eaux usées ayant déjà subi le traitement primaire de la fosse septique. Une fois ces eaux homogénéisées dans un regard, elles sont dirigées vers une station de pompage pour être distribuées également dans les 4 marais filtrants opérés en parallèle à l'aide d'un système de dosage à vanne à rochet.

Le substrat des marais est composé en majorité de matières organiques, de sable et d'autres composantes minérales caractérisées par une bonne capacité d'adsorption. Pour compléter l'aération passive assurée par le système racinaire des végétaux, une aération artificielle se fait dans la zone d'enrochement d'entrée par le biais de conduites d'air alimentées par une soufflante. L'eau est ensuite acheminée à la Rivière-du-Loup.



Photo J. Brisson

Type d'eau usée	Domestique (villégiature)
Volume moyen	135 m ³ par jour
Type de marais	Sous-surfacique, à écoulement horizontal
Superficie du marais	4176 m ²
Espèces de macrophytes	Roseau commun (<i>Phragmites australis</i>)*
Réalisation	HG Environnement
Localisation	Auberge le Baluchon, 3550 Chemin des Trembles, Saint-Paulin, QC J0K 3G0
Année de mise en fonctionnement	2007

* Note : Depuis 2012, il est interdit d'utiliser le roseau commun d'origine exotique dans les nouveaux marais filtrants au Québec, étant donné son caractère envahissant.



B. LA BIOSPHÈRE DE MONTRÉAL (QUÉBEC)

La filière de traitement est constituée de plusieurs étapes, imitant le gradient allant de la bordure d'un marais colonisé de plantes émergentes jusqu'à la zone plus profonde avec des plantes submergées. L'eau usée provenant d'une fosse septique située en tête du système est acheminée dans un premier marais sous-surface couvrant 400 m² planté de *Phragmites australis*. Ensuite, l'eau passe à un deuxième marais peu profond de 300 m², planté de scirpes lacustres (*Scirpus lacustris*), de quenouilles à feuille large (*Typha latifolia*) et d'iris versicolores (*Iris versicolor*).

Le dernier marais, qui représente l'étape de « polissage » du système, est constitué d'une première zone peu profonde de 50 m² plantée avec de la menthe du Canada (*Mentha canadensis*), suivie d'une deuxième zone de même surface, mais plus profonde, colonisée par l'élodée du Canada (*Elodea canadensis*).



Photos J. Brisson

Depuis sa mise en fonction, le marais filtrant de la Biosphère a pris de la maturité. Certaines espèces de plantes s'y sont installées, alors que d'autres ont disparu.

Type d'eau usée	Domestique
Volume moyen	10 m ³ par jour
Type de marais	Hybride : Sous-surface et surfacique, à écoulement horizontal
Superficie du marais	800 m ²
Espèces de macrophytes	Roseau commun (<i>Phragmites australis</i>), Scirpe (<i>Scirpus lacustris</i>), Quenouille à feuille large (<i>Typha latifolia</i>), Élodée du Canada (<i>Elodea canadensis</i>), etc.
Réalisation	Projet de collaboration : Michel Radoux (Fondation Universitaire Luxembourgeoise), Jean-Louis Breton (Sodinco Inc.), Marc Marin (Groupe Steica Inc), Jacques Trottier (Soprin Inc), G. Vincent (Jardin botanique de Montréal)
Localisation	La Biosphère, Ile Notre-Dame, Montréal
Année de mise en fonctionnement	1995



C. VILLAGE DE ROUSSILLON (FRANCE)

Le système de traitement d'eaux usées du village de Roussillon est typique du système dit « système français ». Il a été conçu de manière à accepter les larges variations saisonnières, allant des rejets de 300 habitants en hiver, jusqu'à 1320 habitants durant la période touristique estivale. L'eau usée brute arrive directement au marais sans autre prétraitement qu'un passage à travers une grille. L'eau est acheminée au marais par bâchée, grâce à un système gravitaire par siphon (ne nécessite pas de pompe). Le système est constitué de deux étages de marais à écoulement vertical, en série. Le premier marais est constitué 3 marais de 350 m², en parallèle, utilisés en alternance (une semaine d'alimentation, deux semaines de repos pour chaque marais). L'effluent est collecté au fond et acheminé vers un des deux marais de 250 m² du 2e étage, aussi en parallèle, et utilisé en alternance (changement hebdomadaire). L'eau traitée est rejetée dans un ruisseau.



Photos J. Brisson

En 2011, les boues très minéralisées qui se sont accumulées au fil du temps sur les marais du 1er étage ont été récoltées et valorisées par épandage sur une terre agricole.

Type d'eau usée	Domestique
Volume moyen	110 m ³ par jour (550 habitants) annuellement (haute variation saisonnière)
Type de marais	Sous-surfacique, à écoulement vertical
Superficie du marais	1550 m ² (total)
Espèces de macrophytes	Roseau commun (<i>Phragmites australis</i>)
Conception/Réalisation	SINT / Epur Nature
Localisation	Usine d'épuration de Roussillon-en-Provence, Vaucluse
Année de mise en fonctionnement	1998

7.0 BIBLIOGRAPHIE

DOCUMENTS AYANT SERVI À LA RÉDACTION DU PRÉSENT TRAVAIL

- Allison, S.D. and Vitousek, P.M. (2005)
Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs. *Soil Biology and Biochemistry* 37(5), 937-944.
- Armstrong, W. (1964)
Oxygen diffusion from the roots of some British bog plants. *Nature* 204, 801-802.
- Brix, H. (1987)
Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-the root-zone method. *Wat. Sci. Tech* 19(1/2), 107-118.
- Brix, H. (1997)
Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology* 35(5), 11-17.
- Gagnon, V. (2007)
Influence de l'espèce de macrophyte sur la densité et l'activité microbienne en marais filtrant artificiel, Université de Montréal.
- Gersberg, R.M., Elkins, B.V., Lyon, S.R. and Goldman, C.R. (1986)
Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Water Research* 20(3), 363-368.
- Gianfreda, L. and Rao, M.A. (2004)
Potential of extra cellular enzymes in remediation of polluted soils: a review. *Enzyme and Microbial Technology* 35(4), 339-354.
- Hatano, K., Frederick, D.J. and Moore, J.A. (1994)
Microbial ecology of constructed wetlands used for treating pulp mill wastewater. *Water Science & Technology* 29(4), 233-239.
- Jenssen, P., Maehlum, T. and Krogstad, T. (1993)
Potential use of constructed wetlands for wastewater treatment in northern environments. *Water Science & Technology* 28(10), 149-157.
- Kadlec, R.H., Knight, R.L. and J., V. (2000)
Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation., IWA Publishing, London.
- Kadlec, R.H. and Wallace, S. (2009)
Treatment Wetlands, CRC Press.
- Liang, W., Wu, Z.-b., Cheng, S.-p., Zhou, Q.-h. and Hu, H.-y. (2003)
Roles of substrate microorganisms and urease activities in wastewater purification in a constructed wetland system. *Ecological Engineering* 21(2-3), 191-195.
- Reddy, K. and D'angelo, E. (1997)
Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands. *Water Science and Technology* 35(5), 1-10.
- Stottmeister, U., Wiessner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., Muller, R.A. and Moormann, H. (2003)
Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances* 22(1-2), 93-117.
- Thullen, J.S., Sartoris, J.J. and Walton, W.E. (2002)
Effects of vegetation management in constructed wetland treatment cells on water quality and mosquito production. *Ecological Engineering* 18(4), 441-457.
- Uggetti, E., Ferrer, I., Llorens, E. and Garcia, J. (2010)
Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. *Bioresource Technology* 101(9), 2905-2912.
- Vymazal, J. (1998)
Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe, Backhuys.
- Vymazal, J. (2001a)
Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation, Iwa Publishing.
- Vymazal, J. (2001b)
Types of constructed wetlands for wastewater treatment: Their potential for nutrient removal. *Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands*, 1-93.
- Vymazal, J. (2005)
Removal of enteric bacteria in constructed treatment wetlands with emergent macrophytes: a review. *Journal of environmental science and health* 40(6-7), 1355-1367.
- Vymazal, J. and Kröpfelová, L. (2008)
Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow Springer Netherlands, Netherlands.
- Wallace, S., Parkin, G. and Cross, C. (2001)
Cold climate wetlands: design and performance. *Water Science and Technology* 44(11-12), 259-265.
- Werker, A.G., Dougherty, J.M., McHenry, J.L. and Van Loon, W.A. (2002)
Treatment variability for wetland wastewater treatment design in cold climates. *Ecological Engineering* 19(1), 1-11.

8.0 DROITS DE REPRODUCTION

Date d'émission :

29 mai 2013

Date de dernière modification :

28 mai 2014

Droits d'auteur: Société québécoise de phytotechnologie

Ont participé à la rédaction de cette fiche :

Vincent Gagnon, Jacques Brisson et les membres du c.a. 2013 de la SQP.

Illustrations :

Vincent Gagnon

Droits de reproduction à des fins non commerciales

L'information de cette fiche peut être reproduite à des fins personnelles ou publiques non commerciales sans autorisation de la Société québécoise de phytotechnologie (SQP).

Toutefois, les conditions suivantes s'appliquent:

- La source de l'information doit être ainsi citée: *Société québécoise de phytotechnologie, Fiches techniques de la SQP. I. LES MARAIS FILTRANTS. 28 mai 2014. www.phytotechno.com*
- L'utilisateur doit prendre soin de conserver l'exactitude des documents reproduits.
- La copie ne peut être présentée en tant que version officielle originale.
- La copie ne peut être présentée comme étant faite en affiliation avec la SQP ou avec son aval.

Droits de reproduction à des fins commerciales:

La reproduction à des fins commerciales, en tout ou en partie, de cette fiche et de tout autre document publié par la SQP est interdite sans la permission écrite de la SQP. Par cette autorisation, la SQP cherche à s'assurer de la diffusion des versions les plus exactes et actualisées des documents dont elle dispose. On peut obtenir une autorisation de reproduction à des fins commerciales en s'adressant à:

SOCIÉTÉ QUÉBÉCOISE DE PHYTOTECNOLOGIE

2030, Boul. Pie-IX, bureau 403

Montréal (Québec) Canada H1V 2C8

PHYTOTECNO.COM

Courriel:

info@phytotechno.com

Mise en garde:

La présente fiche est un instrument d'information. Son contenu ne constitue aucunement une recommandation, une liste exhaustive de procédés ou de règles en vigueur. Il demeure la responsabilité du lecteur de se référer aux recommandations, procédés et règlements en vigueur, ainsi qu'à toutes autres normes applicables, le cas échéant.