

Directives danoises pour les marais artificiels de petites tailles en assainissement non collectif

Hans Brix

En 1987, le Parlement danois a approuvé le « plan d'action contre la pollution par les nutriments dans les milieux aquatiques danois », plus connu sous la dénomination « plan d'action pour les milieux aquatiques ». L'objectif de ce plan était de réduire la charge polluante en azote et phosphore, respectivement de 50 et 80 %, provenant de l'agriculture, des rejets domestiques et industriels. Les moyens nécessaires pour atteindre ces réductions comprenaient l'extension des stations d'épuration et des efforts pour s'assurer que le secteur agricole réduisent leurs pertes de nutriments vers les milieux aquatiques. Dix ans plus tard, l'objectif concernant la réduction du phosphore fut largement atteint par un traitement plus poussé des eaux usées, mais pour les rejets d'azote dans l'environnement aquatique, les niveaux étaient encore trop élevés. De ce fait, un nouveau plan d'action (Action Plan II) fut prescrit en 1998, avec notamment l'établissement de marais artificiels sur les terres agricoles pour retenir de l'azote (*Ministry of Environment and Energy*, 1997).

Mais, proportionnellement à la réduction des rejets en provenance des stations d'épuration et de l'industrie au cours des quinze dernières années, l'impact relatif des rejets en provenance de zones d'habitat dispersé et d'eaux de ruissellement pluviales sur les cours d'eaux et les lacs, a augmenté. Ce sont d'ailleurs ces zones d'habitat dispersé et leurs rejets de matière organique et de phosphore qui sont principalement responsables de cette incapacité à atteindre les objectifs fixés. Par conséquent, en 1997, le plan de protection

de l'environnement fut amendé par l'acte 325 en date du 14 mai, relatif au traitement des eaux usées en zones rurales (*Ministry of Environment and Energy*, 1997). C'est dans ces zones que se situe l'essentiel des résidences qui ne sont pas raccordées aux réseaux d'assainissement collectifs.

Ces propriétés traitent habituellement leurs eaux usées par des microstations ayant des capacités inférieures à 30 équivalents-habitants (EH) ou des systèmes d'assainissement non collectifs. En 1998, on estimait ce nombre à environ 346 500 propriétés en zones rurales. Elles comprenaient des villages-vacances pour locations estivales, des lotissements, des résidences dispersées et de simples villages. Mais de loin, la majorité (60 %) des propriétés déclarées en zones rurales est constituée d'habitations dispersées. Les locations estivales représentent environ 30 % des propriétés déclarées. Environ la moitié de l'ensemble des propriétés rejette leurs eaux usées via des dispositifs d'infiltration et n'ont donc pas de rejets en milieux superficiels, mais cela signifie aussi que l'autre moitié a des rejets dans les cours d'eau, les lacs ou la mer. Parmi celle-ci, 90 % des propriétés sont des résidences d'habitat permanent (*Ministry of Environment and Energy*, 2000b).

Le niveau de traitement exigé en zones rurales pour améliorer l'état des eaux intérieures et particulièrement celles des petits cours d'eau est présenté dans le tableau 1 (page 58). L'acte 325 (1997) définit quatre classes de traitement qui doivent être atteintes. Ces classes et leurs niveaux de traitement dépendent des objectifs de qualité

Les contacts

Department of Biological Sciences, University of Aarhus, Nordlandsvej 68, 8240 Risskov, Denmark

du cours d'eau. Les circonscriptions locales (*Counties*) spécifient les zones géographiques dans lesquelles le traitement des eaux des propriétés situées en milieu rural doit être amélioré. En concertation avec les autorités municipales, le conseil de circonscription fixe les objectifs de qualité de chaque cours d'eau. Ces objectifs sont déterminés au regard des rivières et lacs qui sont vulnérables ; le conseil assigne à chacun un niveau maximum admissible de rejet sur la base de sa connaissance de l'état environnemental et des charges qui peuvent être admises dans les milieux récepteurs. L'agence de la protection de l'environnement du Danemark estime qu'approximativement 67 000 propriétés en zone rurale, sur l'ensemble du territoire, qui traitent individuellement leurs eaux usées vont devoir améliorer leur système de traitement dans un futur proche. Pour les autres, le système actuel de traitement est jugé satisfaisant et ne nécessite donc pas d'amélioration (*Ministry of Environment and Energy, 2000a, c*). L'abattement du phosphore pour les classes OP et SOP du tableau 1 est requis quand les effluents traités se rejettent dans un lac ou dans un cours d'eau aboutissant à un lac. La nitrification (classes SO et SOP) est requise quand les effluents aboutissent dans un cours d'eau ayant un objectif pour le saumon, et l'abattement de matière organique (exprimé par la DBO) est nécessaire en toutes circonstances, y compris le rejet en mer.

Après l'adoption de l'acte 325 du 14 mai 1997, le ministère danois de l'Environnement et de l'Énergie a défini des directives guides pour diverses filières de traitement jusqu'à 30 EH. Ces guides officiels s'intéressent aux systèmes d'infiltration par le sol (de type épandage souterrain) (*Ministry of Environment and Energy, 1999d*), aux marais artificiels à écoulement horizontal (*Ministry of Environment and Energy, 1999c*) ainsi qu'aux filtres à sable (*Ministry of Environment and Energy, 1999b*).

1. Ce qui signifie un abattement de 90 % sur l'azote Kjeldhal (N.D.T. : note du traducteur).

▼ Tableau 1 – Classes de traitement qui doivent être atteintes en zones rurales.

Classes de traitement	DBO ₅	P-Total	Nitrification ¹
SOP	95 %	90 %	90 %
SO	95 %	-	90 %
OP	90 %	90 %	-
O	90 %	-	-

Les systèmes d'infiltration par le sol sont préférés en raison de leur simplicité et de leurs coûts d'investissement plus faibles, mais en de nombreux endroits ils ne sont pas adaptés à cause de sols argileux, de nappes hautes ou de la proximité de captages d'eau potable. Pour ces sites, d'autres filières de traitement doivent être utilisées. Celles-ci se composent des filtres à sable, divers types de marais artificiels, taillis à courtes rotations à base de saules, fossés étanches devant être régulièrement vidangés, microstations d'épuration et connexion à un réseau collectif d'assainissement. Les microstations doivent satisfaire à un test impartial et sévère pour obtenir une certification officielle pour les différentes classes de traitement avant de pouvoir être commercialisées sur le marché danois (*Ministry of Environment and Energy, 1999a*).

Dans la suite de cet article, les guides des marais artificiels à écoulement horizontal et vertical ainsi que les taillis à base de sol seront brièvement décrits. Les guides pour les systèmes d'infiltration et les filtres à sable ne le seront pas. Les guides contiennent en résumé :

- des textes législatifs et réglementaires,
- les études sur sites nécessaires avant la construction,
- les ouvrages de prétraitement,
- une description technique indiquant comment dimensionner et construire les systèmes incluant les schémas détaillés de construction,
- les contraintes d'exploitation.

Les systèmes d'infiltration satisfont les exigences de la classe d'infiltration la plus sévère (SOP). Les seules autres options possibles sont les taillis à courte rotation à base de saules et quelques solutions techniques non décrites ici. Les marais artificiels à écoulement horizontal se classent en « O » (90 % de réduction sur la DBO). Les filtres à sable et les marais artificiels à écoulement vertical sont compatibles avec la classe « SO » (95 % de réduction de la DBO et 90 % de nitrification).

Le guide pour les marais artificiels à écoulement horizontal

Ces filtres ne permettent pas la nitrification et leur rétention du phosphore est limitée ; de ce fait ils ne peuvent que satisfaire l'exigence de la classe « O » qui requiert 90 % d'abattement sur la DBO.

Le guide danois est similaire aux recommandations qui prévalent dans la bibliographie internationale et les guides d'autres pays (Cooper, 1990 ; Österreichisches Normeringsinstitut, 1997 ; Vymazal *et al.*, 1998 ; Kadlec *et al.*, 2000). Seuls les points importants sont résumés ici :

- les eaux usées doivent subir un prétraitement dans une fosse de sédimentation à 2 ou 3 compartiments (volume minimum 2 m³ pour une maison jusqu'à 5 EH) ;
- la surface minimale active du filtre planté de roseaux à écoulement horizontal est de 5 m²/EH, ce qui suppose une surface minimale de 25 m² pour une maison d'habitation n'hébergeant pas plus de 5 personnes ;
- la longueur minimale du filtre est de 10 m (ce qui suppose une largeur de 2,5 m pour une maison d'habitation de 5 personnes) ;
- le fond du filtre doit avoir une pente de 1 % entre l'entrée et la sortie, mais la surface doit être plane ;
- la profondeur du filtre doit être de 0,6 m à l'entrée et est donc plus profonde à la sortie ;
- les compartiments d'entrée et de sortie du filtre consistent en une tranchée transversale remplie de gros galets de sorte que l'eau ne soit pas en contact avec l'atmosphère ;
- le filtre doit être entièrement étanchéifié avec une géomembrane de 0,5 mm d'épaisseur minimum ;
- la géomembrane doit être protégée extérieurement par un géotextile anti-poinçonnement ou du sable ;
- le matériau de garnissage doit être un sable homogène avec un d₁₀ compris entre 0,3 et 2 mm et un d₆₀ compris entre 0,5 et 8 mm, le coefficient d'uniformité [d₆₀/d₁₀] doit être < 4 ;
- le filtre est planté de roseaux (*Phragmites australis*).

La majorité des lits ou filtres à écoulement horizontal au Danemark a été construite à la fin des années 80 et au début des années 90 et le fut avec le sol en place comme matériau et pour le traitement des eaux usées de petits villages (Brix, 1998). Les performances de ces systèmes ont été jugées bonnes en termes d'élimination de la matière organique (DBO et MES), mais aucune nitrification ne se produit et seulement

une petite fraction de phosphore est retenue. Les nouveaux filtres construits avec du sable (selon les recommandations du présent guide) sont peu nombreux en raison de leur incapacité à nitrifier et retenir le phosphore (Brix and Johansen, 1999 ; Brix *et al.*, 2003).

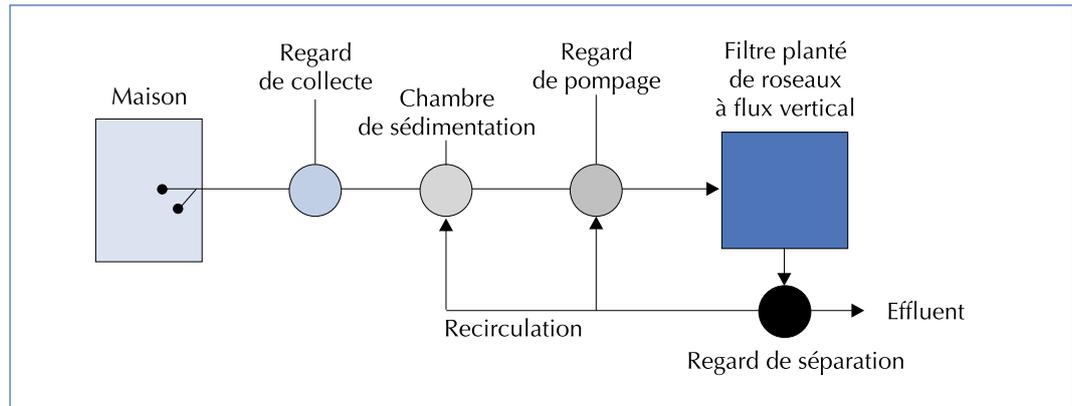
Le guide pour les marais artificiels à écoulement vertical

Durant ces dernières années, des recherches sont conduites pour développer des marais artificiels qui satisferont la classe la plus exigeante ; 95 % d'abattement sur la DBO, 90 % sur le phosphore total (PT) et 90 % d'abattement sur l'azote Kjeldhal (Brix *et al.*, 2003 ; Arias *et al.*, 2003a, b). Des investigations préliminaires avaient montré que les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical pouvaient être capables de satisfaire ces exigences. Un filtre à flux vertical expérimental a été construit près d'une station d'épuration municipale afin de pouvoir ajuster les charges à la demande, et de nombreux essais ont été conduits pour déterminer les limites de traitement (Johansen *et al.*, 2002). Ces essais ont aussi permis d'évaluer les effets du recyclage d'effluent vers la chambre de sédimentation afin d'accroître la dénitrification et les performances globales du système (Brix *et al.*, 2002 ; Marti *et al.*, 2003). Ces études ont montré que la capacité des filtres à flux vertical à éliminer la DBO et nitrifier était importante et constituait le principal critère pour déterminer la surface spécifique. Les résultats ont aussi prouvé que le recyclage d'effluent nitrifié dans la chambre de sédimentation augmente la rétention d'azote total et améliore globalement les performances.

S'appuyant sur les essais conduits sur ce site expérimental, un système en taille réelle a été construit pour une maison individuelle de 4 personnes (figure 1, page 60). Il comprend une fosse de sédimentation de 2 m³ à trois compartiments, une pompe de relevage pilotée par un détecteur de niveau et un filtre à flux vertical de 15 m². Les performances de cette station unifamiliale ont été suivies sous différentes conditions, sans recirculation et avec recirculation pour augmenter l'élimination d'azote total par dénitrification (Brix, 2003).

Ces études ont produit des résultats suffisants pour écrire un guide officiel pour la conception et la construction d'un tel système de marais artificiel pour les zones d'habitat dispersé en milieu rural. Il est actuellement sous presse au ministère de

► Figure 1 – Schéma de principe d'un filtre planté de roseaux à flux vertical pour une maison particulière.



l'Environnement et de l'Énergie. Les facteurs clés en sont :

- les eaux usées doivent subir un prétraitement dans une fosse de sédimentation à 2 ou 3 compartiments (volume minimum 2 m³ pour une maison jusqu'à 5 EH) ;
- la surface minimale active du filtre planté de roseaux à écoulement horizontal est de 3 m²/EH, ce qui suppose une surface minimale de 15 m² pour une maison d'habitation n'hébergeant pas plus de 5 personnes ;
- la profondeur minimale du filtre est de 1 m. Le matériau de garnissage doit être un sable homogène avec un d₁₀ compris entre 0,5 et 1,2 mm et un d₆₀ compris entre 1 et 4 mm, le coefficient d'uniformité [d₆₀/d₁₀] doit être < 3,5. La teneur en argile et limons (particules < 0,125 mm) doit être de moins de 0,5 % ;

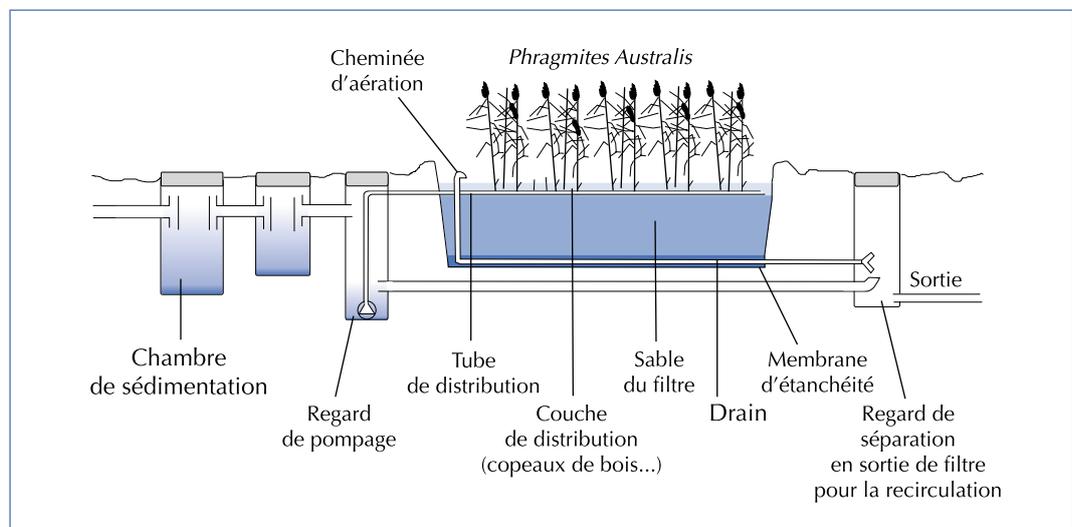
- le filtre doit être entièrement étanchéifié avec une géomembrane de 0,5 mm d'épaisseur minimum. Cette membrane doit être protégée des deux côtés par un géotextile anti-poinçonnement ;

- le filtre est planté de roseaux (*Phragmites australis*). La fonction principale des plantes est d'éviter le colmatage du filtre ;

- les eaux usées prétraitées sont distribuées sur la surface du filtre par un réseau de canalisations sous pression. Ces canalisations sont isolées du gel par une couverture de 0,2 m de copeaux de bois ou de coquillages marins sur la surface du filtre ;

- la fréquence d'alimentation est de 16 à 24 bâchées par jour quand la moitié de l'effluent est recirculée dans le système ;

► Figure 2 – Coupe longitudinale schématique d'un filtre planté de roseaux à flux vertical pour une maison individuelle.



– l'effluent est collecté par un réseau de drainage aéré placé dans une couche de 0,2 m de gravier grossier au fond du filtre ;

– la moitié du volume d'effluent sortant du filtre est recyclée dans la 1^{re} partie de la chambre de sédimentation ou du regard de pompage pour améliorer la dénitrification et pour stabiliser les performances du système.

Les filtres plantés de roseaux à flux vertical réalisés selon ce guide peuvent convenir pour les classes de traitement O et SO, ce qui signifie 95 % d'abattement sur la DBO et une nitrification de 90 %. En revanche, ces filtres ne peuvent pas satisfaire les exigences qui concernent la rétention du phosphore (figures 2 et 3). La possibilité de mettre en place une unité de traitement séparée contenant un matériau capable de fixer le phosphore a été étudiée de façon poussée, à la fois en laboratoire à échelle réduite et en vraie grandeur. Un matériau à base de calcite qui avait de grandes capacités de fixation du phosphore et en même temps des propriétés hydrauliques satisfaisantes avait été identifié (Brix *et al.*, 2000 ; Arias *et al.*, 2002 ; 2003a). Malheureusement, ce matériau n'est plus disponible commercialement, et de ce fait, il n'a pas été possible de l'inclure dans le guide. La possibilité de précipiter le phosphore dans la chambre de sédimentation avec du chlorure d'aluminium est en cours de test. Les premiers résultats sont prometteurs et laissent penser que le dosage nécessaire est de seulement 30 litres par an pour une maison d'habitation.

Les guides pour les taillis à courte rotation à base de saules

Un système original de marais artificiels à base de saules a été développé comme système de dispersion des eaux usées en zones rurales (Gregersen et Brix, 2001 ; Brix et Gregersen, 2002). Les principales caractéristiques de ce système d'épuration des eaux tiennent au fait qu'ils ne rejettent pas d'eau du fait de l'évapotranspiration et qu'une partie des nutriments est recyclée sous forme de biomasse végétale. De plus, cette biomasse récoltée peut être recyclée comme source d'énergie. Deux jeux de guides ont été publiés : un guide décrit les taillis à base de saules sans rejets (*Ministry of Environment and Energy*, 2003a), et l'autre s'intéresse aux systèmes qui ne sont pas mis en place dans un lit complètement étanchéifié par géomembrane et qui, de ce fait, permet une certaine infiltration dans le sol sous-jacent (*Ministry of Environment and Energy*, 2003b). Ce dernier cas est prévu pour les sols argileux dans lesquels l'infiltration est faible.

Les taillis utilisés pour l'épuration des eaux sont généralement constitués d'une cavité profonde de 1,5 m, étanchée par une membrane en polyéthylène haute densité, remplie de sol et plantée avec des clones de saules (*L. Salix viminalis*)². La surface active des taillis dépend de la quantité et de la qualité des eaux usées à traiter et des précipitations annuelles localement. Pour une maison d'habitation, la surface nécessaire est au Danemark généralement comprise entre 120 et

2. En l'absence de mention particulière dans l'article d'origine, il convient cependant de prendre toutes précautions nécessaires pour éviter que la géomembrane ne soit percée par les racines des saules (N.D.T.).

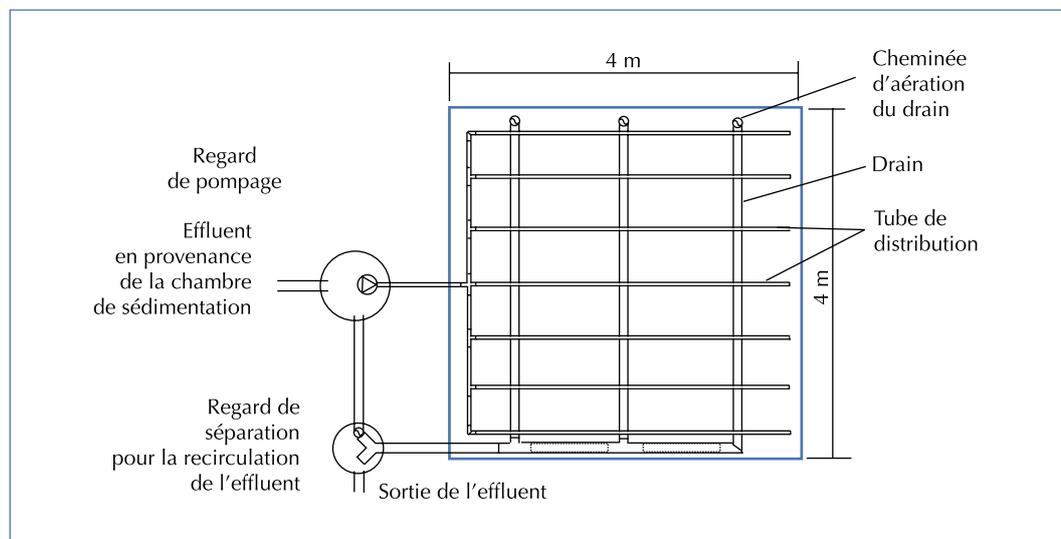


Figure 3 – Vue d'ensemble d'un filtre planté de roseaux à flux vertical pour une maison d'habitation individuelle de 5 EH montrant les réseaux de distribution et de drainage.

300 m². Les eaux usées ayant subi une décantation préalable sont réparties dans le taillis sous pression. Les tiges des saules sont régulièrement récoltées pour stimuler la croissance et exporter quelques nutriments et métaux lourds.

L'eau est évacuée par évaporation depuis le sol et par évapotranspiration par les plantes. Les facteurs importants pour maximiser cette perte d'eau sont les suivants : apport d'énergie important par radiation solaire qui influe sur les facteurs suivants (température de l'air élevée et faible humidité relative), échange rapide de l'air ambiant par le vent, résistance du couvert végétal, résistance des stomates et indice de surface foliaire des végétaux, des facteurs tels « l'effet oasis », qui est un phénomène pour lequel l'air plus chaud et sec, en équilibre avec des zones sèches circule au travers d'un couvert végétal ayant une grande disponibilité d'eau (Rosenberg, 1969). La végétation est soumise à une évaporation intense en utilisant la chaleur sensible de l'air ainsi que l'énergie radiante, et l'air se trouve refroidi par ce processus. S'y ajoute l'effet dénommé « étendoir à linge » lorsque la végétation est plus grande que celle des alentours, ce qui induit une rugosité différente pouvant accroître l'évaporation d'eau (Allen *et al.*, 1998). Ce phénomène apparaît quand se produisent des remous de chaleur sensibles dans le couvert végétal et l'évacuation de vapeur est augmentée par la traversée horizontale du vent perpendiculairement au grand côté de la végétation. De ce fait, l'évapotranspiration par unité de surface de ces îlots de végétation peut être significativement plus grande que l'évapotranspiration potentielle calculée. Des exemples des effets « étendoir à linge » et « oasis » peuvent

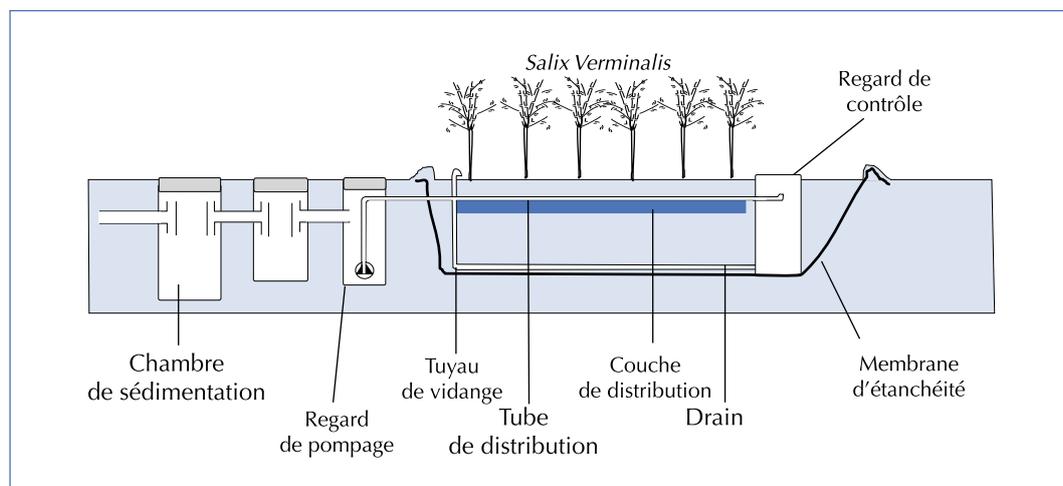
s'illustrer par l'évaporation d'une seule rangée d'arbres entourée par une végétation basse ou entourée par un terrain sec et non cultivé, ou encore par l'évaporation d'une bande de massettes au bord d'un ruisseau.

Les principales caractéristiques des taillis de saules (figure 4) sont :

- les eaux usées doivent subir un prétraitement dans une fosse de sédimentation à 2 ou 3 compartiments (volume minimum 2 m³ pour une maison jusqu'à 5 EH) ;
- les taillis enclos sont généralement construits avec une largeur de 8 m, une profondeur minimale de 1,5 m avec une pente de 45° sur les côtés ;
- la perte d'eau annuelle est supposée être 2,5 fois celle de l'évapotranspiration déterminée en fonction des paramètres climatiques locaux ;
- la surface utile nécessaire est déterminée par la quantité d'eau usée, les précipitations et l'évapotranspiration potentielle du lieu ;
- le lit est ceint dans une membrane étanche et l'eau est distribuée sous le sol à l'aide d'une pompe à détecteur de niveau ;
- un drain est placé au fond du dispositif et peut être utilisé pour en vider l'eau si les sels s'y sont accumulés après quelques années de fonctionnement ;
- un tiers des saules est récolté chaque année pour qu'ils restent à un stade jeune et bien portant avec des taux de transpiration élevés.

Les taillis peuvent satisfaire toutes les classes de traitement y compris la plus exigeante « SOP »

► Figure 4 – Schéma de principe d'un taillis sans rejet (système complètement évaporatif étanchéifié).



(95 % d'abattement en DBO, 90 % en phosphore et 90 % de nitrification), étant donné qu'il n'y a pas de rejet dans les cours d'eau récepteurs.

Les taillis avec infiltration dans le sol sont dimensionnés sur les mêmes bases que les systèmes étanches. Les saules évaporeront toute l'eau usée durant la saison de pousse, mais en hiver l'eau s'infiltrera dans le sol. Ces systèmes satisfont aussi toutes les classes de traitement, même la SOP, car il n'y a pas de rejet en milieu superficiel.

Conclusions

L'agence danoise de protection de l'environnement a publié des guides pour des solutions d'assainissement non collectif en zones rurales. Si ces guides sont respectés, il n'est pas nécessaire de suivre le fonctionnement des systèmes qui sont

supposés répondre aux exigences requises. Les dispositifs d'infiltration dans le sol et les taillis de saules satisfont les exigences d'abattement en phosphore, mais dans de nombreux cas, il n'est pas possible de mettre en place les systèmes d'infiltration à cause des caractéristiques des sols ou de la présence d'une nappe haute, et les taillis nécessitent de disposer de grande surface. Aussi, il convient toujours de rechercher des solutions de traitement compactes répondant à un abattement de 90 % en phosphore. Actuellement, la seule solution disponible est celle de traitements intensifs avec une précipitation physico-chimique du phosphore, mais elle consomme de l'énergie et ses performances ne sont pas supposées être fiables en toutes circonstances. Des études sont donc toujours en cours pour identifier des solutions plus simples et robustes pour retenir le phosphore. □

Résumé

Le ministère danois de l'Environnement et de l'Énergie a décidé une nouvelle réglementation qui exige que les maisons individuelles et groupes de bâtiments en zones rurales traitent leurs eaux usées de façon adéquate avant de les rejeter dans le milieu aquatique. De plus, des recommandations officielles pour de nombreuses solutions de traitements non collectifs ont été publiées. Elles incluent des recommandations pour des dispositifs d'infiltration, lits d'infiltration-percolation sur sable ainsi que de nombreux types de marais artificiels. Cet article présente brièvement les recommandations pour les filtres plantés à flux horizontal et à flux vertical ainsi que les filtres plantés de saules avec et sans infiltration d'eau dans le sol. Des solutions, correspondant à la classe de traitement exigeant 90 % d'abattement en phosphore et à faible emprise au sol sont toujours recherchées. Par conséquent, un travail est en cours pour identifier les solutions les plus simples et les plus fiables d'élimination du phosphore.

Abstract

The Danish Ministry of Environment and Energy has passed a new legislation that require the wastewater from single houses and dwellings in rural areas to be treated adequately before discharge into the aquatic environment. Therefore official guidelines for a number of onsite treatment solutions have been produced. These include guidelines for soakaways, biological sand filters, technical systems as well as different types of constructed wetland systems. This paper summarises briefly the guidelines for horizontal flow constructed wetlands, vertical flow constructed wetlands, and willow systems with no outflow and with soil infiltration. There is still a lack of compact onsite solution that will fulfil the treatment classes demanding 90% removal of phosphorus. Therefore work is presently being carried out to identify simpler and robust P-removal solutions.

Bibliographie

- COOPER, P.-F., (eds.), 1990, *European design and operations guidelines for reed bed treatment systems*, EC/EWPCA Emergent Hydrophyte Treatment Systems Expert Contact Group.
- VYMAZAL, J., BRIX, H., COOPER, P.-F., GREEN, M.-B., HABERL, R.(eds.), 1998, *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*, Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas.
- ALLEN, R.-G., PEREIRA, L.-S., RAES, D., SMITH, M., 1998, *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*.
- ARIAS, C.-A., BRIX, H., JOHANSEN, N.-H., 2002, Phosphorus removal from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system equipped with a calcite filter, in *Proceedings of the 8th international conference on wetland systems for water pollution control*, Arusha, Tanzania 16-19 September 2002, vol. II, p. 952-960.
- ARIAS, C.-A., BRIX, H., JOHANSEN, N.-H., 2003a, Phosphorus removal from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system equipped with a calcite filter, *Wat. Sci. Tech.*, 48, p. 51-58.
- ARIAS, C.-A., CABELLO, A., BRIX, H., JOHANSEN, N.-H., 2003b, Removal of indicator bacteria from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system, *Wat. Sci. Tech.*, 48, p. 35-41.
- BRIX, H., 1998, Denmark, in VYMAZAL, J., BRIX, H., COOPER, P.-F., GREEN, M.-B., HABERL, R. (Eds.), *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*, Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas, p. 123-152.
- BRIX, H., 2003, Danish experiences with wastewater treatment in constructed wetlands, in DIAS, V. et VYMAZAL, J. (Eds.), *Proceedings of the 1st International Seminar on the Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands*, May 8-10, 2003, Lisboa, Portugal, p. 327-361.
- BRIX, H., ARIAS, C.-A., DEL BUBBA, M., 2000, How can phosphorus removal be sustained in subsurface-flow constructed wetlands?, in *Proceedings of the 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, university of Florida, Lake Buena Vista, p. 65-74.
- BRIX, H., ARIAS, C.-A., JOHANSEN, N.-H., 2002, BOD and nitrogen removal from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system with recycling, in *Proceedings of the 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Arusha, Tanzania 16-19 September 2002, vol. I, p. 400-410.
- BRIX, H., ARIAS, C.-A., JOHANSEN, N.-H., 2003, Experiments in a two-stage constructed wetland system: Nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal, in VYMAZAL, J. (Ed.), *Wetlands - nutrients, metals and mass cycling*, Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas, p. 237-258.
- BRIX, H., GREGERSEN, P., 2002, Water balance of willow dominated constructed wetlands, in *Proceedings of the 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Arusha, Tanzania 16-19 September 2002, vol. I, p. 669-670.
- BRIX, H., JOHANSEN, N.-H., 1999, Treatment of domestic sewage in a two-stage constructed wetland - design principles, in VYMAZAL, J. (Ed.), *Nutrient cycling and retention in natural and constructed wetlands*, Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas, p. 155-163.
- GREGERSEN, P., BRIX, H., 2001, Zero-discharge of nutrients and water in a willow dominated constructed wetland, *Wat. Sci. Tech.*, 44, p. 407-412.
- JOHANSEN, N.-H., BRIX, H., ARIAS, C.-A., 2002, Design and characterization of a compact constructed wetland system removing BOD, nitrogen and phosphorus from single household

sewage, in *Proceedings of the 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, Arusha, Tanzania 16-19 September 2002, vol. I, p. 47-61.

KADLEC, R.-H., KNIGHT, R.-L. VYMAZAL, J. BRIX, H., COOPER, P., HABERL, R., 2000, *Constructed Wetlands for Pollution Control. Processes, performance, design and operation*, Scientific and Technical Report, International Water Association.

MARTI, E., ARIAS, C.-A., BRIX, H., JOHANSEN, N.-H., 2003, Recycling of treated effluents enhances reduction of total nitrogen in vertical flow constructed wetlands, *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*, 94, p. 150-155.

Ministry of Environment and Energy, 1997, Act n° 325 of 14 May 1997 on wastewater treatment in rural areas (en danois).

Ministry of Environment and Energy, 1999a, *Certification of technical wastewater treatment systems up to 30 PE* (en danois), Guidelines from the Danish Environmental Protection Agency n° 4.

Ministry of Environment and Energy, 1999b, *Environmental guidelines for biological sandfilters up to 30 PE* (en danois), Guidelines from the Danish Environmental Protection Agency n° 3.

Ministry of Environment and Energy, 1999c, *Environmental guidelines for root zone systems up to 30 PE* (en danois), Guidelines from the Danish Environmental Protection Agency n° 1.

Ministry of Environment and Energy, 1999d, *Environmental guidelines for soil infiltration systems up to 30 PE* (en danois), Guidelines from the Danish Environmental Protection Agency n° 2.

Ministry of Environment and Energy, 2000a, *Aquatic Environment 1999. State of the Danish Aquatic Environment*, Environmental Investigations n° 3.

Ministry of Environment and Energy, 2000b, *The Aquatic Environment in Denmark 1996-1997. State of Danish freshwaters and inlets in 1996 and 1997*, Environmental Investigations n° 4.

Ministry of Environment and Energy, 2000c, *The Aquatic Environment in Denmark 1996-1997. State of Danish freshwaters and inlets in 1996 and 1997*, Environmental Investigations n° 4.

Ministry of Environment and Energy, 2003a, *Guidelines for willow systems up to 30 PE* (en danois), Økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning n° 25.

Ministry of Environment and Energy, 2003b, *Guidelines for willow systems with soil infiltration up to 30 PE* (en danois), Økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning n° 26.

Österreichisches Normeringsinstitut, 1997, Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen) Anwendung, Bemessung, Bau und Betrieb.

ROSENBERG, N.-J., 1969, Advective contribution of energy utilised in evapotranspiration by alfalfa in the East Central Great Plains, *Agricultural Meteorology*, n° 6, p. 179-184.