

# Marais artificiels pour le traitement des surverses de déversoir d'orage – Point sur la pratique et la recherche en Allemagne

Mathias Uhl<sup>a</sup> et Ulrich Dittmer<sup>b</sup>

Les rejets des eaux de ruissellement urbaines peuvent sérieusement affecter l'hydraulique et la qualité écologique des eaux superficielles. Les surverses de déversoirs d'orage (appelées SDO dans ce texte) de réseaux unitaires peuvent particulièrement endommager des milieux récepteurs de capacité réduite et sensibles, au point de ne pouvoir répondre aux exigences de la directive européenne (91/271/CEE du 21 mai 1991). Le tableau 1 résume les effets principaux de ces surverses.

## Les objectifs du traitement des SDO et la protection des eaux

En suivant l'approche combinée de la directive européenne, la planification du traitement des SDO doit prendre en compte à la fois le contrôle des émissions et les systèmes d'évaluation de la qualité (SEQ). L'action usuelle sur le contrôle de l'émission se situe en général au niveau du stockage et de la sédimentation dans des bassins d'orage sur des sites conçus le plus souvent selon

▼ Tableau 1 – Dangers potentiels des SDO pour les milieux récepteurs.

Période	Type de danger	Indicateur/paramètre
À court terme (quelques heures)	Hydraulique Chimique Physique Biochimique  Hygiénique	Débits, débordements, érosion, mouvements de sédiments Sels ammoniacaux, substances toxiques Matières en suspension Manque d'oxygène dans l'eau et les sédiments (spécialement si solides facilement biodégradables) Bactéries, virus
Retardée (jours, semaines)	Hydraulique Chimique Biochimique  Hygiénique Esthétique	Érosion, morphologie Sels ammoniacaux, substances toxiques Manque d'oxygène dans l'eau et les sédiments (spécialement si solides biodégradables) Bactéries, virus Flottants, déchets solides, huiles, graisses
À long terme (semaines, années)	Hydrologique Chimique  Biochimique	Régime hydraulique perturbé, modifications morphologiques Métaux lourds, substances organiques persistantes, solides minéraux/organiques Manque d'oxygène par eutrophisation

### Les contacts

a. Laboratory of Water Resources Management, University of Applied Sciences Muenster, Corrensstrasse 25, FRG-48149 Muenster, Germany  
b. Institute of Environmental Engineering, Technical University of Kaiserslautern, Paul-Ehrlich-Strasse 14, FRG-67663 Kaiserslautern, Germany

1. Recommandation édictée par ATV, association allemande pour le contrôle de la pollution de l'eau, membre de l'IWA (*International Water Association*, <http://www.iwa.de>).

les directives de l'ATV A-128 (1992)<sup>1</sup>. Le critère de base de ce guide type est la charge moyenne annuelle de DCO émise par la surverse du déversoir d'orage.

Des volumes de 30-60 m<sup>3</sup>/ha sont le plus souvent utilisés pour ces bassins d'orage. En fonction des caractéristiques du bassin versant, un flux de réseau unitaire de 2 à 7 fois le débit par temps sec est retenu pour un traitement centralisé en station d'épuration. Cependant, des rejets d'eaux non traitées ne peuvent être évités au cours d'événements pluvieux intenses. Le traitement des eaux en bassins d'orage se limite à l'élimination des flottants et à la décantation des sédiments grossiers, lorsque le comportement hydraulique est satisfaisant.

Les agences de l'eau en Allemagne exigent de façon croissante le respect des critères des SEQ individualisés à chaque milieu récepteur. Les lacunes méthodologiques et les coûts élevés pour suivre et évaluer les impacts des SDO ont stimulé la recherche au cours de la dernière décade. Le résultat obtenu est une méthodologie simple et détaillée pour prédire la qualité du cours d'eau sous l'influence d'une SDO et d'eaux de ruissellement (BWK M3, 2001<sup>2</sup>). Un traitement poussé est requis si les résultats indiquent que le traitement habituel de la SDO ne correspond pas à certains critères du SEQ ou si d'autres usages (par exemple, baignade, pêche) sont affectés négativement. En fonction des conditions locales du milieu récepteur, un ou plusieurs des objectifs suivants doivent être atteints par traitement poussé : réduction des pointes de débits, des concentrations (sels ammoniacaux, DBO, MES [organiques et minérales) et des charges annuelles (phosphore, métaux lourds, sédiments).

Une recherche intense et une expérience croissante au cours des dernières années ont prouvé que les marais artificiels à flux vertical étaient une technique très efficace pour un traitement poussé sur des eaux de ruissellement.

## Les marais artificiels pour le traitement des SDO

### Configuration

Les marais artificiels sont compatibles avec plusieurs exigences pour un traitement poussé des SDO. Les principaux processus en jeu dans le marais sont :

- le stockage (réduction des pointes hydrauliques),

- la filtration (rétention des particules solides),
- l'adsorption et la dégradation biologique (réduction des polluants solubles et en suspension).

Cependant la nature aléatoire des pluies et, de ce fait, l'occurrence des SDO conduit à des sérieuses différences entre les marais artificiels conçus pour le traitement des SDO et ceux destinés au traitement des eaux usées. Une autre caractéristique typique des SDO de réseaux unitaires est la fourchette large des concentrations en polluants, qui varie à la fois en fonction des caractéristiques du site et des événements pluvieux. La figure 1 montre une configuration de marais artificiel pour un traitement poussé. Le bassin d'orage et le marais artificiel sont disposés en cascade. Pour éviter le colmatage du filtre à cause d'une charge excessive en MES, un prétraitement par sédimentation dans un bassin d'orage est essentielle. Un ouvrage de sortie avant le marais artificiel permet la surverse quand le volume de stockage du marais artificiel est plein. Grâce à cela et spécialement pendant les événements pluvieux intenses, la charge en MES dans le marais artificiel est limitée pour éviter son colmatage. Quand cela est nécessaire, le rejet du marais artificiel peut être retenu par un bassin de rétention additionnel où peut se poursuivre une certaine sédimentation.

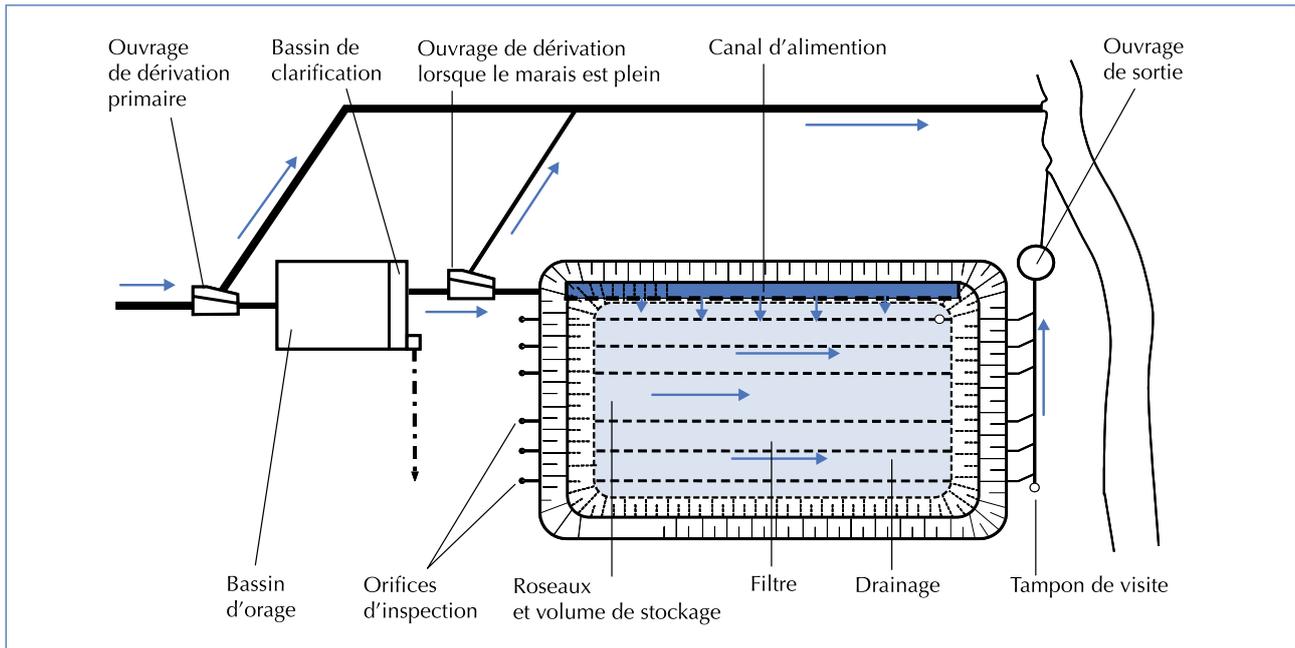
### Conception

Les marais artificiels pour le traitement des SDO sont généralement conçus comme des filtres à flux vertical avec un bassin de rétention au-dessus de la plage d'infiltration. La vitesse de filtration et le temps de séjour sont réglés par un limiteur de débit dans l'ouvrage de sortie. Le filtre est complètement drainé et vidangé entre deux événements de surverse, afin d'obtenir une aération suffisante pour une dégradation aérobie à l'intérieur du massif filtrant. Les roseaux ont prouvé leur supériorité (*cf.* Le fonctionnement opérationnel, page 45). La figure 2 montre une coupe transversale du filtre.

### Les valeurs guides

#### Dimensionnement

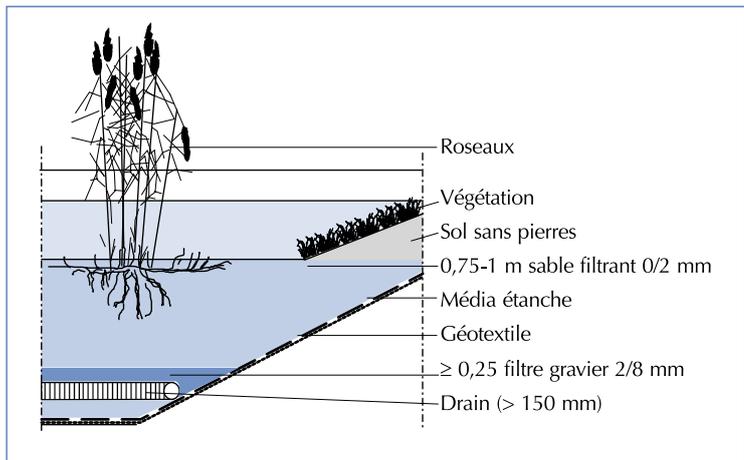
Le concept de base pour le dimensionnement est sécuritaire et focalisé sur la charge hydraulique et la fréquence de rejet. La mise au point d'une procédure incluant des critères de qualité n'a pas



▲ Figure 1 – Configuration d'un marais artificiel avec traitement des surverses de déversoir d'orage.

été considérée actuellement comme adaptée, en raison de la large fourchette de données de flux émanant de réseaux unitaires et d'incertitudes sur le comportement du traitement à long terme. Le tableau 2 liste les paramètres de dimensionnement, considérés comme pertinents en fonction des conditions locales de traitement.

Comme la qualité de traitement est significativement améliorée si la vitesse d'infiltration est



▲ Figure 2 – Vue en coupe d'un marais artificiel pour le traitement des surverses de déversoir d'orage.

Objectifs de traitement	Fréquence de rejet	Vitesse d'infiltration	Charge hydraulique		Rendement attendu
			Moyenne à long terme	Sur une année	
	Par an	m/s	m <sup>3</sup> (m <sup>2</sup> .an)	m <sup>3</sup> (m <sup>2</sup> .an)	%
DBO/DCO	0,5-2	1,10 <sup>-5</sup>	≤ 40	≤ 50	-
Ammonium	0,5-2	1,10 <sup>-5</sup>	≤ 40	≤ 50	-
Phosphore	-	10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-4</sup>	≤ 40	≤ 50	Valeur locale
Métaux lourds	-	1,10 <sup>-5</sup> -3,10 <sup>-5</sup>	≤ 40	≤ 50	Valeur locale
Solides	-	1,10 <sup>-5</sup> -3,10 <sup>-5</sup>	≤ 40	≤ 50	Valeur locale
Sanitaires	-	1,10 <sup>-5</sup>	≤ 40	≤ 50	Valeur locale

◀ Tableau 2 – Paramètres de dimensionnement des marais artificiels.

limitée, un limiteur de débit dans l'ouvrage de sortie est obligatoire. La procédure de dimensionnement comprend deux étapes principales :

- le dimensionnement du volume de rétention est basé sur une simulation de pluie/ruissellement pour le bassin versant sur une période de 10 ans. Le résultat définit le volume de rétention, la charge hydraulique à traiter, la période la plus longue de submersion et la fréquence de rejet quand le volume de rétention est plein ;
- le dimensionnement de la surface du filtre est calculée à partir du ratio de la charge hydraulique calculée et acceptable.

En fonction des besoins locaux, les volumes de rétention des marais artificiels varient dans une fourchette de 60 à 120 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> de surface imperméabilisée.

### Construction

Grâce aux observations réalisées sur plus de 50 marais artificiels différents en service, les recommandations suivantes constituent un état de l'art. Des modifications du schéma de principe sont possibles tant que les objectifs de base sont respectés. Des éléments indispensables pour assurer un fonctionnement fiable à long terme sont un limiteur de débit en sortie et un prétraitement par décantation.

#### L'ENTRÉE

Des chenaux ouverts fonctionnant comme des seuils avec une vitesse maximale < 150 l/(s.m) doivent être choisis pour éviter d'endommager le filtre par érosion. En pratique, la pénétration par des canalisations directement dans le filtre ont posé de sérieux problèmes hydrauliques à la végétation, aux processus de décantation et de filtration, même quand des dissipateurs d'énergie ont été utilisés.

#### LE DRAINAGE ET L'ÉTANCHÉITÉ

Une couche drainante > 25 cm en gravier 2/8 mm et un réseau de drains conduisent l'eau vers l'ouvrage de sortie. Les drains doivent avoir un diamètre > 150 mm, ne pas dépasser 30 m de longueur et être espacés de 3-5 m. Des surfaces de filtration supérieures à 1 000 m<sup>2</sup> doivent être drainées par plusieurs systèmes. L'extrémité amont des drains doit se terminer au-dessus du niveau d'eau maximum et être ouverte, afin d'éviter une mise en pression pendant le remplissage et une aération après vidange du filtre. Grâce au limiteur de débit en sortie, le réseau de drainage fonctionne comme un système en charge durant les surverses de déversoirs d'orage. Le marais artificiel doit être considéré comme un ouvrage de traitement des eaux usées et doit de ce fait être étanchéifié pour éviter des fuites vers le sol ou des introductions en provenance de ce dernier. L'étanchéité est obtenue avec un géotextile anti-poinçonnement associé à une membrane de polyéthylène de 2 mm, ou par une couche d'argile de 40 cm.

#### LE MATÉRIAU FILTRANT

Pour la couche filtrante, l'épaisseur est comprise entre 0,75 et 1 m ; un sable de 0/2 mm peut être recommandé. Des bonnes performances de traitement peuvent être obtenues avec les granulométries recommandées dans le tableau 3. Pour garantir la porosité à long terme, la vitesse d'infiltration en milieu vierge doit être de 5 à 10 fois plus élevée que la vitesse d'infiltration attendue en fonctionnement. La teneur en carbonates doit être de 10 à 15 % en volume pour permettre une adsorption durable d'ammonium et de métaux lourds. Des carbonates naturels ou artificiels (conditionnement d'eau potable) doivent être ajoutés si la teneur géochimique du sable est trop faible. Ces carbonates doivent avoir une faible réactivité pour être efficaces à long terme. Des ajouts de fer

▼ Tableau 3 – Granulométrie des matériaux filtrants.

Classes et limites des grains	Masse moyenne	Masse minimum	Masse maximum
	mm	en %	en %
Argile, limon	< 0,06	0	1
Sable fin	0,06-0,2	15	25
Sable moyen	0,2-0,6	70	80
Sable grossier	0,6-2,0	15	25
Gravier	> 2,0	0	1

accroissent l'adsorption du phosphore si nécessaire. L'utilisation de limons a posé des problèmes de mise en place tout autant que de colmatage, de passages préférentiels ou courts-circuits ayant entraîné de mauvais rendements.

#### LES OUVRAGES DE SORTIE ET DE SURVERSE

L'ouvrage de sortie est construit comme un gros regard dans lequel l'ensemble du réseau de drainage collecte les eaux traitées. En fonction de la taille du marais artificiel, le limiteur de débit indispensable peut aller d'un simple siphon à une vanne automatiquement contrôlée. Ce dispositif doit permettre une vidange complète du filtre pour permettre sa bonne aération. Un clapet anti-retour doit être installé quand des remontées d'eau peuvent se produire fréquemment. Dans certains cas, des petites pompes animées par l'énergie solaire peuvent être utiles pour assurer à la fois le rôle de limiteur de débit et de protection contre les intrusions d'eau extérieures.

L'ouvrage de surverse doit être construit comme un déversoir en avant du marais artificiel et si possible intégré au bassin d'orage.

#### Coûts de mise en place

Les coûts des marais artificiels pour les surverses de déversoirs d'orage ont été évalués à partir de plusieurs réalisations. Ils dépendent bien sûr de la taille des installations. Pour des volumes de stockage < 2 000 m<sup>3</sup>, des coûts de construction spécifiques vont de 200 à 500 €/m<sup>3</sup> et pour des volumes > 2 000 m<sup>3</sup>, de 100 à 200 €/m<sup>3</sup>. Une relation forte peut être observée entre les coûts de construction (c en €/ha de BV) et les surfaces imperméabilisées des bassins versants (BV en ha) :  $C = 57,400 \times BV^{0,3618}$ , avec un  $r^2 = 0,88$ .

### Le fonctionnement opérationnel

#### Performances

Les rendements épuratoires importants des marais artificiels pour le traitement des SDO ont été prouvés dans plusieurs études sur sites (Uhl *et al.*, 2003). Le tableau 4 présente les paramètres de qualité obtenus pour une installation en taille réelle construite et exploitée selon les valeurs guides décrites ci-dessus.

La sortie présente typiquement des concentrations très faibles en DCO, DBO et MES. Les concentrations des composés azotés indiquent une complète adsorption et nitrification des sels ammoniacaux. Étant données les conditions

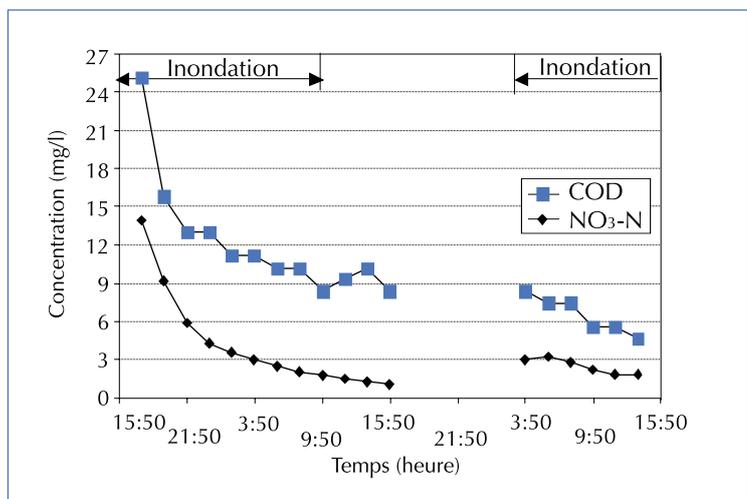
	DCO	DBO	MES	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>
Entrée (mg.l <sup>-1</sup> )	75	8,9	99	0,74	0,76
Sortie (mg.l <sup>-1</sup> )	12	< 3	< 10	0,03	2,36
Rendement %	84	-	-	96	

aérobies qui prévalent dans le filtre, on ne note aucune dénitrification. Les rejets de nitrates du filtre sont même supérieurs à la somme des concentrations des composés azotés en entrée. Ceci peut être attribué au lessivage des nitrates après nitrification de l'azote organique, un phénomène qui se produit lors de longues périodes sèches (Dittmer *et al.*, 2004). Les données présentées dans le tableau 4 ont été mesurées avec une vitesse d'infiltration de 10<sup>-5</sup> m/s. Des performances identiques peuvent être atteintes avec des vitesses d'infiltration jusqu'à 3,10<sup>-5</sup> m/s, à condition que le matériau filtrant suive les recommandations données dans le tableau 3. Des flux en sortie plus élevés entraînent un déclin des performances épuratoires (Uhl, Jübner, 2003 ; Dittmer *et al.*, 2004). Dans les limites des concentrations d'entrée des SDO, la qualité de l'influent n'a virtuellement pas d'incidence sur la sortie. Comme les substances polluantes des SDO varient fortement en fonction des bassins versants, du bassin d'orage placé en tête et des événements pluvieux, les performances d'une station ne peuvent être prédites sur la base de rendements épuratoires constants.

La figure 3 présente des allures typiques de concentrations des effluents au cours de deux événements successifs. Comme la nitrification a

▲ Tableau 4 – Concentrations moyennes d'entrée et de sortie d'un marais artificiel.

▼ Figure 3 – Concentrations des effluents au cours de deux événements successifs.



3. Cette remarque ne s'applique vraisemblablement pas en France avec le traitement des eaux usées brutes (N.D.T. : note du traducteur).

été efficace durant la précédente période sèche (36 jours), les nitrates sont lessivés avec le 1<sup>er</sup> épisode de fonctionnement. Il en résulte un gros pic de concentrations dans les premiers rejets. La courte pause avant l'événement suivant permet seulement une faible nitrification, qui apparaît seulement sous forme d'un petit pic au cours du 2<sup>e</sup> épisode de fonctionnement.

La concentration en DCO montre une tendance presque identique. Plus la période sèche est longue, plus le pic est accentué. Après des périodes sèches de plus de 10 jours, les concentrations dans l'effluent peuvent atteindre le niveau de la DCO soluble dans l'influent. Ceci indique qu'aucun abattement en DCO ne se produit par adsorption et dégradation des substances organiques solubles. Les explications rendant compte de cette chute transitoire des performances sont les conditions insaturées au tout début du contact entre l'eau et la couche supérieure biologiquement la plus active, les capacités d'adsorption limitées du biofilm sec et mort des micro-organismes au cours de la période sèche. Des submersions prolongées entraînent des conditions anaérobies qui inhibent la dégradation. Le filtre doit donc être complètement drainé après un maximum de 48 heures de submersion.

Les concentrations de sels ammoniacaux en sortie sont typiquement stables et indépendantes de la succession des périodes de charge. D'après des études sur pilotes en laboratoire, des périodes sèches de 3 mois n'ont pas eu d'impact négatif sur les abattements de sels ammoniacaux (Uhl *et al.*, 2003). Seules des périodes chargées durant plusieurs jours ou semaines entraînent un épuisement des capacités d'adsorption, et de ce fait, un accroissement intense des concentrations dans l'effluent (Fuchs, 2003).

### Autres intérêts opérationnels

Les dépenses de gestion et d'entretien d'un marais artificiel ne sont pas significativement plus élevées que celles d'un autre équipement pour gérer les surverses de déversoirs d'orage. Les opérations routinières d'exploitation comprennent le contrôle régulier du limiteur de débit, le contrôle du réseau de drainage tous les 5 ans et le nettoyage des drains si nécessaire. Cependant, un souci majeur de gestion de marais artificiels est la fiabilité du traitement en conditions extrêmes, telles que charges élevées de matières en suspension, submersion prolongée, et à l'inverse longues périodes sèches.

### CHARGES EN MES

Même si l'ouvrage de prétraitement est conçu et géré correctement, les marais artificiels pour les SDO reçoivent généralement des charges significativement plus élevées de MES que ceux utilisés en traitement d'eaux usées<sup>3</sup>. Ceci conduit à l'accumulation de sédiments en surface du filtre. Une couche de dépôts de plusieurs centimètres par an peut être observée sur des stations en vraie grandeur. Ces dépôts se différencient des matériaux de garnissage originaux du filtre par leur forte teneur en limons et argiles (environ 80 %) ainsi qu'en matière organique (autour de 20 %). Cette couche de sédiments est biologiquement active et contribue de façon substantielle à l'efficacité épuratoire.

Les débris flétris des roseaux mélangés avec ces dépôts favorisent l'aération des sédiments. Si de surcroît, des périodes adéquates de séchage permettent la minéralisation des composés organiques, les sédiments n'ont pas d'effet significatif sur les capacités d'infiltration. Des problèmes surviennent quand des processus d'érosion dans le bassin versant provoquent des charges importantes de matières en suspension qui ne peuvent sédimenter dans le bassin d'orage à l'amont du filtre. Les sources principales des MES sont les chantiers de construction et les terres arables. Les particules très fines d'argiles et limons peuvent former une couche compacte et imperméable de sédiments qui peuvent causer un colmatage total du filtre. Si un marais artificiel doit être construit, l'arrivée de particules minérales dans le réseau d'assainissement unitaire doit être limitée.

### SUBMERSIONS LONGUES

Beaucoup de réseaux présentent une augmentation significative des débits de temps sec en hiver et au printemps, due à des infiltrations excessives d'eaux claires. Ceci augmente la fréquence – et dans les cas extrêmes – entraîne un rejet permanent des bassins d'orage avec des charges relativement élevées de polluants (DBO et DCO solubles, sels ammoniacaux). Parallèlement à une détérioration de la qualité de l'effluent (voir ci-dessus), des charges de longue durée augmentent les risques de colmatage, comme cela a pu être observé sur différentes stations équipées de filtres. Des études conduites par Schwarz *et al.* (2001) indiquent que cela peut être principalement attribué à la croissance rapide de la biomasse dans la zone superficielle du filtre. Contrairement au colmatage dû aux particules minérales, cet engorgement biologique est réversible. Cependant, la

capacité d'infiltration ne peut être complètement restaurée qu'en mettant le filtre hors service pour plusieurs mois.

Pour prévenir ce genre de situation, le problème des eaux d'infiltration dans les réseaux doit être résolu en les réhabilitant avant de mettre en service un marais artificiel. Pour les bassins versants dans lesquels se produisent de longues surverses de déversoirs d'orage, une configuration à deux filtres qui peuvent être chargés en alternance est recommandée.

#### VÉGÉTATION

Le rôle principal des roseaux est de maintenir la perméabilité des sédiments et de la couche superficielle du filtre. Dans plusieurs cas, la mise en service précoce de filtres récemment construits avec un développement végétal insuffisant a conduit à un colmatage total. De ce fait, une phase initiale d'au moins une période végétative est obligatoire pour obtenir un bon développement des roseaux. La mise en service avec un réseau unitaire doit démarrer étape par étape après la première année. Durant cette phase, la végétation requiert une attention et une gestion particulière. De jeunes arbres qui s'implanteraient doivent être enlevés (de préférence à la main).

Si de longues périodes de sécheresse inhibent le développement des roseaux, il convient de maintenir un certain niveau d'eau dans le massif filtrant. Cependant, ce mode de fonctionnement accroît le risque d'anaérobiose avec des effets indésirables (dégradation limitée, relargage d' $H_2S$ , dissolution des carbonates). Dès lors que la végétation est complètement établie, ce mode opératoire particulier doit être abandonné et les conditions standard restaurées (drainage complet).

Les roseaux ne doivent pas être faucardés et la végétation ne doit pas être enlevée du filtre. La

paille forme une couche filtrante additionnelle au-dessus du sable et des sédiments, qui accroît l'efficacité de la décantation et assure l'aération des sédiments.

#### Les activités de recherche en cours

Un des principaux points de recherche est l'amélioration des matériaux de garnissage des filtres et l'optimisation des stratégies de fonctionnement pour atteindre des exigences particulières.

Les projets en cours sont focalisés sur la qualité microbiologique (Grobe *et al.*, 2003) et la rétention fiable et durable du phosphore et des métaux lourds. L'influence des divers modes opératoires sur la fiabilité et les capacités de rétention des marais artificiels pendant de longues périodes de charge fait l'objet d'études. Plusieurs projets de recherche concernent l'élaboration de modèles mathématiques et d'outils de simulation pour prévoir les performances des stations dans des conditions particulières. Les premiers résultats sont présentés par Dittmer *et al.* (2004).

#### Conclusions

Les marais artificiels à flux vertical ont montré qu'ils peuvent être des outils utiles pour le traitement des surverses de déversoirs d'orage de réseaux unitaires. En complément de bassins d'orage conventionnels, ils permettent le traitement des fractions dissoutes de la pollution ainsi que des fines particules et substances qui y sont associées. À partir de l'expérience acquise sur divers types de filtres, des nouvelles valeurs guides recommandent du sable comme matériau de garnissage et un limiteur de débit en sortie. Les sujets de recherche sont focalisés sur l'optimisation des matériaux de garnissage, le fonctionnement à long terme et des modèles de simulation. □

## Résumé

Les filtres plantés à écoulement vertical se sont révélés comme des systèmes adéquats pour le traitement des surverses de déversoirs d'orage de réseaux unitaires. Depuis une quinzaine d'années, plusieurs systèmes sont en opération. Sur la base de recherches récentes, cet article présente les nouvelles recommandations techniques en termes de dimensionnement. Il s'agit de filtres à écoulement vertical composés de sable 0/2 mm, assortis d'une limitation du débit de drainage (limitation du diamètre de sortie du réseau de drainage) pour écrêter les débits. Des rendements de 85-99 % sur la DCO, N-NH<sub>4</sub> et MES peuvent être obtenus par ce type de configuration. Néanmoins, d'importantes charges en MES et de longues ou fréquentes périodes d'inondation peuvent affecter la pérennité du fonctionnement de ces installations. À partir de plusieurs stations en fonctionnement, les recommandations nécessaires pour un fonctionnement satisfaisant sur le long terme sont présentées.

## Abstract

Vertical flow treatment wetlands have been developed as very useful tools for treatment of combined sewage overflow. Several systems have been in operation for over 15 years. Based on recent research work, new technical guidelines now recommend systems with a drained filter of sand 0/2 mm and a throttled outflow. COD, NH<sub>4</sub>-N and SS removal rates of 85-99% can be expected from this type of filter. Too high SS loadings and very long or frequent inundation affect the performance adversely. Information for successful long term operation were derived from various existing plants.

## Bibliographie

ATV A 128, 1992, *Richtlinie für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen*, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik (GFA) Hennef, 1992, ISBN 3-933693-16-0.

BWK M3, 2001, *Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse*, Hrsg. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V., Düsseldorf, ISBN 3-936015-00-7.

DITTMER, U., WELKER, A., SCHMITT, T.-G., 2004, Optimizing the Operation of Constructed Wetlands for the Treatment of Combined Sewer Overflows, 5th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management (NOVATECH), Lyon, France, *Conference Proceedings*.

FUCHS, S., 2003, Retentionsbodenfilter – Betriebserfahrungen/Konsequenzen, ATV-DVWK Regenwassertage 2003, Tagungsband

GROBE, S., UHL, M., MERKEL, W., OVERATH, H., 2003, *Elimination hygienisch relevanter Mikroorganismen durch Bodenfilter zu Mischwasserbehandlung*, Tagungsband der 36, Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, S. 31/1 bis 31/21, Aachen 2003, ISBN 3-932590-83-X.

LANGERGRABER, G., 2001, *Development of a simulation tool for subsurface flow constructed wetlands (Entwicklung eines Simulationsmodells für bepflanzte Bodenfilter)*; *Wiener Mitteilungen* 169, 207 p., Vienna, Autriche, ISBN 3-85234-060-8.

SCHWARZ, M., FUCHS, S., HAHN, H.-H., 2001, Microbial Biomass and Activity in Soil fed with different Wastewaters, in NEHRING, K.-W., BRAUNING, S.-E. (Eds.), Second International Conference on Wetlands and Remediation, *Conference Proceedings*.

UHL, M. *et al.*, 2003, *Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb*, Hrsg. : Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, ISBN 3-9808617-1-6.

UHL, M., JÜBNER, M., 2004, Retentionsbodenfilter zur Mischwasserbehandlung – Untersuchungen von Sandsubstraten und Betriebsweisen, *Korrespondenz Abwasser* 2004 (51), N° 3, p. 254-270.