

Efficacité des filtres plantés de roseaux pour le traitement des métaux et hydrocarbures : cas des eaux pluviales

Gérard BLAKE,
Polytech'Savoie

Efficacité des filtres plantés de roseaux pour le traitement des métaux et hydrocarbures : Cas des eaux pluviales

Gérard BLAKE,
Polytech'Savoie

Introduction

Dans le cas des réseaux unitaires ou même de plus en plus souvent, dans le cas des réseaux séparatifs, le traitement des eaux pluviales devient préoccupant, car ces effluents s'avèrent être chargés en différents polluants. Le traitement de ces eaux est pris en compte sur le plan de l'hydraulique (bassin tampon et bassin de décantation parfois) mais plus rarement en prenant en compte les possibilités de traitement des hydrocarbures et de rétention des métaux par des systèmes tels que les marais artificiels. Dans la littérature scientifique, on s'aperçoit que des essais ont été réalisés avec différentes espèces végétales telles que : *Schoenoplectus lacustris*, *Typha latifolia*, *Iris pseudacorus* et c'est *Phragmites australis* qui a été la plus souvent testée. Les premiers travaux effectués avec cette plante concernaient des marais naturels (Mungur *et al*, 1995).

Ces approches utilisant des héliophytes, sont plus particulièrement développées dans d'autres pays européens comme la Grande-Bretagne et surtout dans les pays nordiques.

Après un rappel des caractéristiques essentielles des eaux pluviales et des eaux de ruissellement de chaussée, les principes de traitement des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des métaux sont présentés. Des applications locales ou régionales font l'objet d'illustrations.

1) Les eaux pluviales et les eaux de ruissellement de chaussée

Ces eaux peuvent être contaminées par des ruissellements issus de toitures, par les résidus de combustion des moteurs à explosion, par les résidus de corrosion des glissières de sécurité, par l'abrasion du revêtement routier etc. Tous ces apports confèrent une grande variabilité de composition chimique dont les paramètres sont nombreux, citons entre autres : la durée de l'événement pluvieux, les caractéristiques du trafic (proportion véhicules légers ou poids-lourds, morphologie du secteur...). La corrélation entre les pluviogrammes et les polluto-grammes permet souvent de sélectionner les premières phases des événements pluvieux qui sont souvent les plus polluées. Cette corrélation a souvent été employée pour la conception des systèmes de rétention, mais la plupart du temps, ce sont les critères hydrauliques globaux qui sont à la base du type et du dimensionnement des dispositifs tels que les bassins de rétention.

En dépit de cette variabilité, les éléments traces métalliques (ETM) et les HAP présents sont les éléments chimiques les plus préoccupants vis-à-vis des perturbations engendrées dans les milieux récepteurs et vis-à-vis des utilisations potentielles pour l'homme. Il importe donc d'apporter des possibilités de rétention ou de traitements de ces contaminants. Dans cette recherche de solutions de traitement, la distinction entre

composés difficilement biodégradables tels que les hydrocarbures et spécifiquement rémanents comme les métaux est primordiale dans la compréhension et la conception des dispositifs de traitement.

II) Les éléments traces métalliques dans les FPR

Les ETM sont en grande partie liés aux MES et leur devenir dépend étroitement, dans un premier temps de la capacité de sédimentation et de filtration de ces particules. Par la suite, les variations de pH, de potentiel redox du substrat sont des facteurs éventuels de remobilisation de ces composés dont certains peuvent changer d'espèce chimique (liaison organique, complexes, formes ioniques ou particulaire...).

Nous pouvons donc considérer qu'il y a deux phases essentielles dans le traitement de ces composés :

- une phase primaire de rétention/immobilisation, qui s'avère être quasi-définitive et permanente pour les métaux si les conditions de complexation-fixation-précipitation avec le substrat sont stables,

- une phase secondaire de dégradation qui concerne surtout les composés organo-métalliques qui est marquée par une cinétique dépendant étroitement des conditions d'aérobie.

C'est dans cette deuxième phase que la synergie macrophytes (essentiellement *Phragmites australis*) / microorganismes bactériens et fongiques joue un rôle primordial.

Les mécanismes de rétention et de dégradation faisant appel à la synergie macrophytes-microorganismes de la rhizosphère sont présentés dans l'état de nos connaissances, il s'agit essentiellement des processus de précipitation d'oxy-hydroxydes ferriques autour des racines qui porte le nom de plaque ferrique. Cette plaque ferrique a fait l'objet de plusieurs travaux depuis sa mise en évidence par Peerly en 1980. Les premiers travaux effectués grâce à des analyses chimiques effectuées après des extractions ont mis en évidence les possibilités de co-précipitations métalliques que l'on expliquait comme une possibilité de protection de la plante vis-à-vis d'une pénétration excessive de toxiques. Ces explications sont souvent critiquées actuellement. Les nouvelles investigations effectuées actuellement avec des techniques avancées (ex. du Synchrotron à Grenoble par le laboratoire LGIT de l'Univ. J Fourier) mettent en évidence la complexité des précipitations des différentes espèces chimiques et montrent que celles-ci ne protègent pas systématiquement la plante de la pénétration par différents métaux. Quoiqu'il en soit, et même si quantitativement, ce processus est difficilement mesurable, il représente une possibilité d'immobilisation non négligeable pour plusieurs métaux au contact d'un système racinaire qui s'étend sur plusieurs m² pour chaque pied de roseau. Ainsi globalement, le processus permet de fixer des quantités importantes d'éléments en conditions d'aérobie.

Complémentairement, la précipitation d'autres espèces métalliques en anaérobie sous formes de sulfures, à des valeurs basses de potentiel redox est un autre processus qui est connu quand la présence de soufre est suffisante dans le substrat ; ceci peut d'ailleurs aboutir à des niveaux toxiques non négligeables dont il faut éventuellement tenir compte.

Globalement, l'antagonisme entre ces deux processus de fixation aérobie et anaérobie reste la question essentielle à approfondir pour l'optimisation de l'efficacité du système d'épuration métallique.

Les roseaux ne peuvent pas être considérés comme des métalphytes et les concentrations métalliques présentes dans la plante ne représentent pas un phénomène quantitativement intéressant au sens de l'épuration des effluents, même s'il existe des

différences significatives entre le comportement des espèces métalliques. Des travaux scientifiques ont été menés dans les milieux naturels, les marais artificiels et dans des écosystèmes recevant des eaux de lessivage de mines. Une des premières questions posées porte sur les risques de toxicité des métaux pour la plante, ceux-ci sont faibles (Ye *et al*, 1997). Dans la majorité des situations, il apparaît que ce sont les organes souterrains, en particulier les racines, qui concentrent le plus fort pourcentage des métaux ayant pénétré dans la plante. Cette forte concentration des métaux analysée dans les racines peut parfois être artificiellement augmentée par les dépôts extérieurs de la plaque ferrique (si les racines n'ont pas été correctement nettoyées) ; elle traduit également le fait que les métaux se déplacent relativement peu dans les organes supérieurs de la plante. Nous avons d'ailleurs montré cette répartition métallique chez la massette (*Typha latifolia*) en employant un traceur radioactif (Zn^{65}) et confirmé la prépondérance des parties inférieures. La mobilité des métaux dépend du type de métal et de l'existence de transporteurs plus ou moins actifs et la possibilité d'une adaptation des plantes aux milieux très pollués s'est posée, notamment pour cette dernière espèce végétale.

Quoi qu'il en soit, on s'aperçoit que la plante joue un rôle direct relativement limité dans la rétention métallique du système épurateur. Le devenir de la litière végétale contaminée par les métaux doit également être pris en compte dans la gestion des FPR ; toute valorisation de la biomasse végétale doit être considérée en fonction des risques ultérieurs encourus, de même lorsque cette litière reste sur place, elle s'enrichit en métaux au cours de sa décomposition et sa minéralisation et participe aux capacités de captation du système (liaisons humiques).

III) Les hydrocarbures

Nous traiterons ici essentiellement des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) qui représentent un risque non négligeable pour les écosystèmes et la santé humaine car certains d'entre eux sont reconnus comme cancérigènes. Ces composés aromatiques sont habituellement classés suivant leur poids moléculaire et si les plus légers (inférieurs à 4 cycles) sont relativement assez bien dégradés dans l'environnement, les plus lourds sont plus rémanents ; ils se fixent sur les particules minérales ou organiques et sont, de plus, moins accessibles aux quelques voies de dégradation des bactéries et champignons éventuellement présents dans les sols et sédiments. Pour ces raisons, la contamination des écosystèmes par ces produits issus essentiellement des combustions est un problème qu'il faut prendre en compte, compte tenu de la fréquence très élevée de ces composés dans les eaux de ruissellement.

Les hydrocarbures et plus particulièrement les HAP offrent des voies de dégradation sous certaines conditions (aérobies dominantes, co-métabolisme...) qui peuvent être exploitées afin de réduire leur temps de séjour dans les marais artificiels.

Ces voies de dégradation des HAP dans les sols et sédiments sont sous la dépendance des microorganismes présents et des conditions physico-chimiques du milieu. En effets, les souches responsables de cette dégradation sont pratiquement toutes aérobies en raison des voies enzymatiques utilisées ; ces conditions restreignent fortement la capacité de dégradation des HAP et expliquent le fait que les milieux pollués, le restent très longtemps car, de plus, la maturation de ces composés dans ces milieux les rendent inaccessibles aux microorganismes épurateurs.

Les travaux de recherche portant sur l'utilisation de marais artificiels pour le traitement des HAP sont relativement peu nombreux par rapport aux études portant sur les métaux lourds.

Ceci est regrettable car ces polluants sont souvent associés et il importe de pouvoir traiter concomitamment ces deux familles de composés.

Par contre, les travaux de laboratoire ou en mésocosmes laissent espérer des applications prochaines à l'échelle réelle des FPR.

Nos travaux effectués à l'aide de HAP marqué au ^{14}C (Pyrène) mettent clairement en évidence, le rôle bénéfique des plantes telles que le roseau qui stimule par un facteur 3 à 5 l'activité des bactéries aérobies présentes dans la rhizosphère. Là encore, l'utilisation d'un traceur permet de connaître avec précision le devenir du polluant dans le système et de vérifier qu'il s'agit bien d'une dégradation par les bactéries et non pas une simple séquestration du pyrène.

Les applications de ce type de résultat sont relativement évidentes puisqu'elles démontrent que la synergie roseau/bactéries est nécessaire si l'on veut optimiser le rendement épuratoire du système.

La dégradation des HAP est donc favorisée par les apports d'oxygène issus des racines du roseau qui créent un environnement propice au développement des bactéries aérobies. Des travaux récents ont également confirmé les possibilités d'utilisation de ces FPR pour des teneurs élevées d'hydrocarbures pétroliers (Ji *et al*, 2007).

IV) Applications des Filtres Plantés de Roseaux aux effluents chargés en métaux lourds et hydrocarbures aromatiques polycycliques

La priorité reste la question du dimensionnement de l'installation en fonction des critères définis par l'étude hydrologique : choix de la période de retour de défaillance de l'ouvrage, évaluation des débits de fuite, régulation des débits, infiltration ou non.... Tous ces paramètres sont à prendre en compte en amont des critères de dépollution. Les disponibilités du site constituent également des critères incontournables.

Sur le plan de la dépollution, les FPR ont commencé à être utilisés pour ces types d'effluents depuis quelques années dans des pays qui ont pris conscience de la dangerosité des eaux de ruissellement et des eaux de chaussée de routes, parkings et autoroutes ; c'est le cas des pays nordiques, de la Grande-Bretagne notamment.

Dans le cas des eaux de chaussée, les dispositifs sont parfois très simples et « rustiques », avec simplement un dispositif régulateur de débit, amortisseur de flux ou parfois avec un décanteur-déshuileur plus sophistiqué. On trouve également des dispositifs permettant de réagir à différents niveaux de débit par des niveaux d'épuration par infiltration/percolation et traitement biologique intégré avec différentes espèces de végétaux. La plus grande part de ces dispositifs sont gravitaires et se superposent à des bassins décanteurs destinés à amortir le flux hydrique (bassins tampons) et souvent à des canaux ou à des noues enherbées.

Les retours d'expérience de ces installations mettent souvent en évidence :

Le colmatage des noues enherbées avec le temps,

Le risque de colmatage des parties amonts des bassins et la nécessité d'un suivi régulier pour l'extraction des flottants et autres débris grossiers,

Les difficultés d'adaptation des dispositifs aux variations hydriques de plus en plus fréquentes...

Les difficultés d'adaptation de dispositifs standards à des conditions particulières (sensibilité du milieu récepteur, protection de nappes, particularités des effluents etc.)

Nous présentons ici quelques situations types dans le cadre d'un milieu récepteur particulièrement sensible : le Lac du Bourget.

Ces installations sont alimentées par les eaux de ruissellement de chaussée et concernent le Sud du lac du Bourget ; de même une installation traitant de eaux de chaussée d'autoroute est présentée.

De même, une installation située à Annecy-Le-Vieux, à l'aval d'une zone industrielle est présentée. Il s'agit d'une installation récente de grande ampleur.

Conclusion

Les FPR sont des éléments qui permettent d'améliorer la qualité des eaux pluviales et des eaux de ruissellement de chaussées chargées en métaux et hydrocarbures. Ces polluants souvent liés aux particules, sont retenus par sédimentation/filtration dans un premier temps.

En réalité, les mécanismes de piégeage des éléments traces métalliques dans les FPR sont complexes car ils font intervenir les composantes du substrat (matières organiques, argiles), les plantes et les microorganismes vivant au contact de ces plantes (rhizosphère). Il apparaît également que l'état physiologique des roseaux est un facteur qui intervient tout autant que la capacité d'oxygénation du milieu. Tous ces facteurs sont à considérer comme des facteurs permettant d'optimiser la capture des métaux. L'évolution des composés métalliques dans le temps, en fonction de l'accumulation de la matière organique, de sa minéralisation est encore peu étudiée.

Pour les HAP, les voies de dégradation sont en majorité en aérobie ; ceci est à considérer dans la conception des dispositifs.

Les eaux pluviales chargées notamment en métaux et en HAP peuvent être épurées par des FPR si l'on prend en compte les facteurs principaux de piégeage et de dégradation cités mais des améliorations sont sans doute encore à apporter en tenant de l'évolution des premières installations et de l'acquisition des connaissances sur les mécanismes mis en jeu.

Bibliographie

Blake, G., Gagnaire-Michard, J., Kirassian, B., and Morand, P. 1987. Distribution and accumulation of zinc in *Typha latifolia*, in Proc. Conf. Aquatic Plants for Wastewater Treatment and Ressource Recovery. Reddy, K.R. and Smith, W.H. Eds Magnolia Publis. Orlando. Florida.

Ji, G.D., T.H. Sun and J.R. Ni. 2007. Surface flow constructed wetland for heavy oil-produced water treatment. *Bioresource Technology* 98:436-441.

Kadlec, R.L., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Haberl, R., 2000. Constructed wetlands for Pollution Control Processes, Performance, Design and Operation. International Ltd., Padstow, England.

Mungur, A.S., Shutes, B.E., Revitt, D.M., House, M.A., 1995. An assessment of metal from highway runoff by natural wetland. *Water Science and Technology* 32, 169-175.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B., Haberl, R. 1998. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.

Ye, Z.H., Baker, A.J.M., Wong, M.H., Willis, A.J., 1997. Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by common reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Annals of Botany* 82, 83-87.

Annexe

Tableau : Exemples de valeurs de concentration métalliques relevées dans la littérature scientifique chez le roseau ou d'autres espèces d'hélophytes.

		<i>Phragmites australis</i>					Valeurs moyennes ds hélophytes (mg/kg)
		Feuilles	Tiges	Rhizomes	Racines	organ. Sup.	organ. Inf.
Zinc	Teneurs (mg/kg) capacités de piégeage (g/m-2)	200	300	35	1-300		20-400
Cuivre	teneurs capacités de piégeage	3 15	4	3	161--2000		1,5-80
Cobalt	teneurs	0,65			0,01-7		
Plomb	teneurs	3 6	0,2		60,04-600		0,11-6
Mercure	teneurs	0,01		0,01	0,01-2		0,01-1,5
Fer	teneurs	70(900)	20	80	20-60000		40-7000
Chrome	teneurs				1--17		



Les Journées de l'eau de l'Assemblée des Pays de Savoie

Développement des FPR pour les effluents chargés en métaux et hydrocarbures (HAP): cas des eaux pluviales

Gérard BLAKE
Professeur à Polytech'Savoie
UNIVERSITE DE SAVOIE

graie



Les eaux pluviales

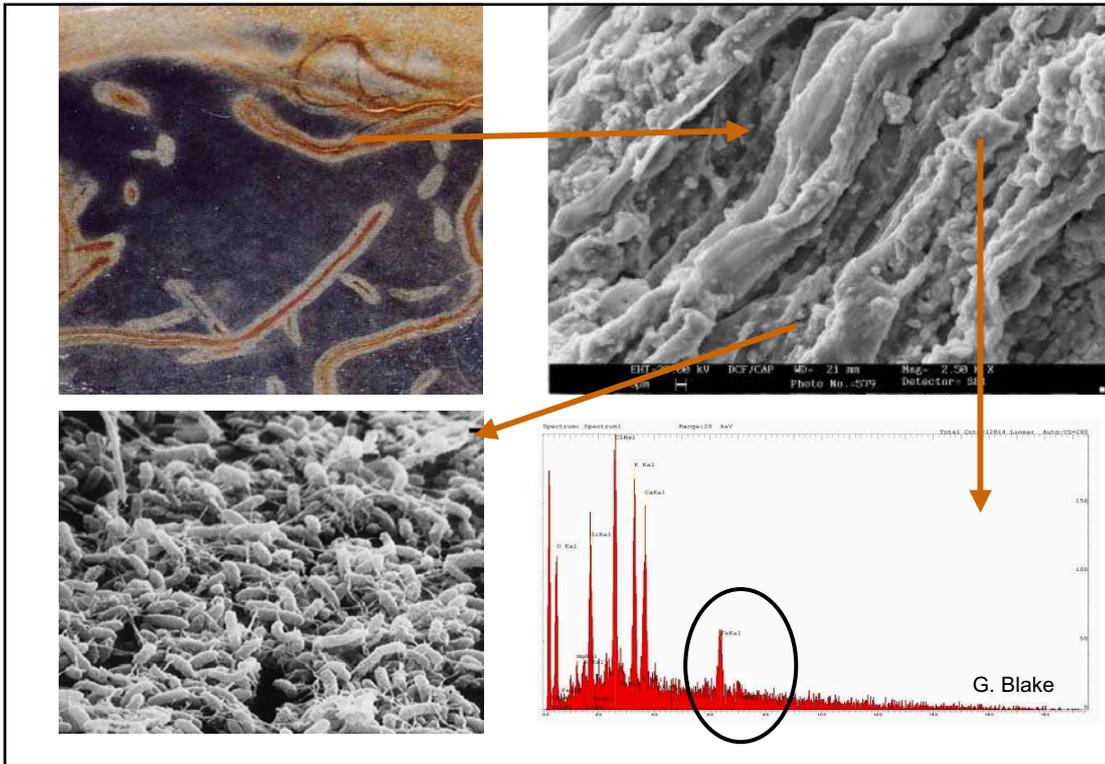
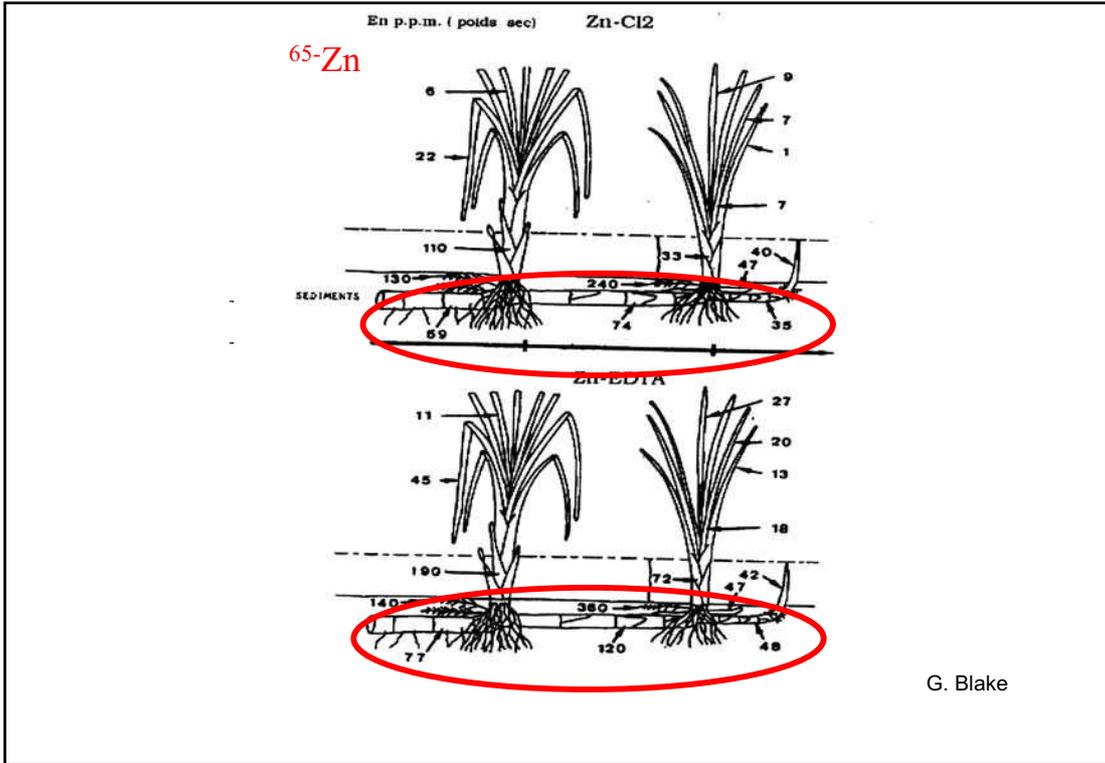
Paramètres	Concentrations moyennes événementielles			Valeurs de références	
	Res. & commerciale	Autoroute & route à fort trafic	Toitures	L.Q. Conso. / prod. eaux de surface	Normes Rejets STEP
MES (mg/L)	190 1- 4582	261 110 - 5700			35
Nutriments (mg/L)					
N total	3,2 0,4 - 20			1	10 / 15
P total	0,34 0,02 - 14,3				1 / 2
NO ₃	1 - 4 [19]		0,5 [20]	50	
N - NH ₄	1,45 0,2 - 4,6	0,02 - 2,1		0,1 / 5	
Métaux (µg/L)					
Pb total	210 10 - 3100	960 241 - 3400	23-104 [20] 100-1 000 [21]	10	
Zn total	300 10 - 3680	410 170 - 355	24 - 900 [20] 500-10 000 [21]	5000	
Cu total	144,6 0,3 - 103	18,5 CV = 40 %	27-235 [20] 10-100 [21]	1000	
Cd total	2,81 CV = 151% 11,32 CV = 93 %	0,76 CV = 83 % 3,61 CV = 30 %	0,7 [20] 0,5 - 5 [21]	5 5	
Matière organique					
DBO ₅ (mg/L)	11 0,7 - 220	24 12,2 - 32		30	25
DCO (mg/L)	85 20 - 365	128 - 171			125
Hydrocarbures					
Hydrocarbures (mg/L)	1,9 0,04 - 25,0	28 2,5 - 400		1	
HAP (µg/L)	0,01 3,2 CV = 102 %	- 0,03 - 6		0,1 / 1	
chrysène	0,3 - 10				
fluoranthène	0,3 - 21				
phenanthrène	0,3 - 10				
Pyrene	0,3 - 16				
Benzopyrène	97				
POPs					
PCBis (ng/L)	27 3 - 175 [17]	3 - 85 [21]			
Pesticides (µg/L)					
Glyphosate	<1,52 <0,1 - 4,7	0,72 0 - 1750		0,5 / 5	
Diuron	<1 - 0,05 - 13	0,05 0 - 2		0,1 / 1	
Chlordane	0,01-10 [18]			0,1 / 1	
Composés organiques Volatils et solvants chlorés					
Bactéries (N/100mL)					
Coliformes fécaux	6430 40 - 500 000			20 000	
Escherichia Coli					
Pseudomonas aeruginosa	Plusieurs centaines				
Salmonella	< 1				
Shigella	10 - 100				

D'après:

Eaux pluviales et assainissement:
nouvelles préoccupations sanitaires

10 octobre 06 – LYON VILLEURBANNE

Variabilité importante



Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

A

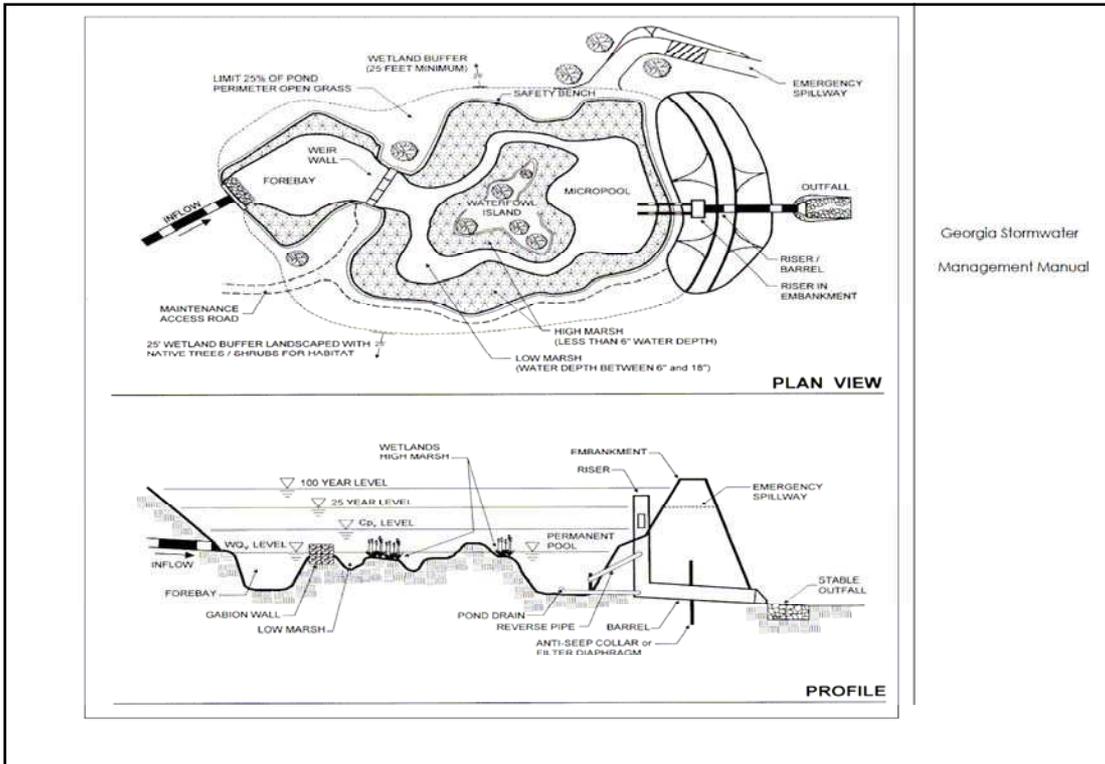
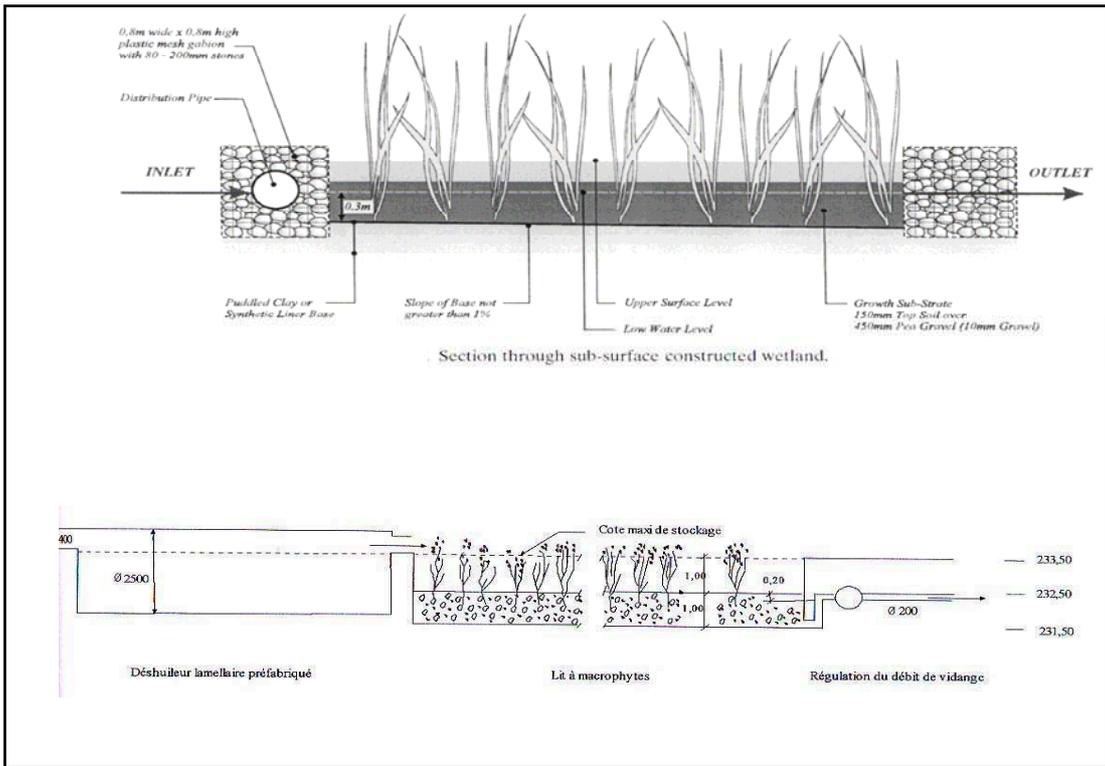
jours	Series 1 (▲)	Series 2 (●)	Series 3 (○)
0	0.00	0.00	0.00
10	0.01	0.01	0.01
20	0.02	0.02	0.02
30	0.04	0.03	0.03
40	0.08	0.05	0.04
50	0.15	0.10	0.05
60	0.45	0.18	0.05

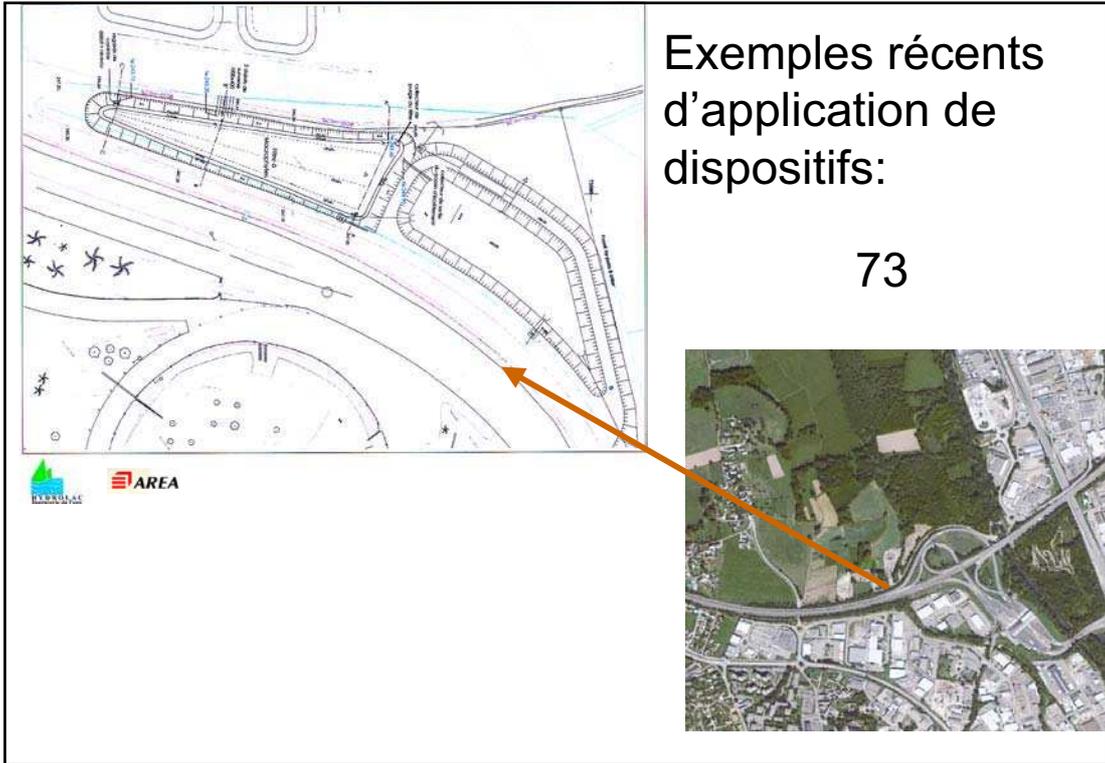
D'après:

Stimulation of Pyrene Mineralization in Freshwater Sediments by Bacterial and Plant Bioaugmentation
 Yves Jouanneau,* John C. Willison, Christine Meyer, Serge Krivobok, Nathalie Chevron, Jean-Luc Besombes, and Gérard Blake
 Laboratoire de Biochimie et Biophysique des Systèmes Intégrés, Département de Réponse et Dynamique Cellulaires, CNRS UMR 5092, CEA-Grenoble, F-38054 Grenoble Cedex 9, France, Laboratoire d'Écologie Alpine (LECA), UMR CNRS 5553, Université Joseph Fourier-Grenoble 1, BP 53, F-38041 Grenoble Cedex 09, France, and Laboratoire d'Optimisation et Conception en Ingénierie de l'Environnement (LOCIE), and Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement (LCME), ESIGEC-Université de Savoie, 73376 Le Bourget du Lac, France

Les dispositifs







Exemples récents d'application de dispositifs:

73

LE GRAND LAC 1999 2015 **73**
SECTEUR DU LIDO

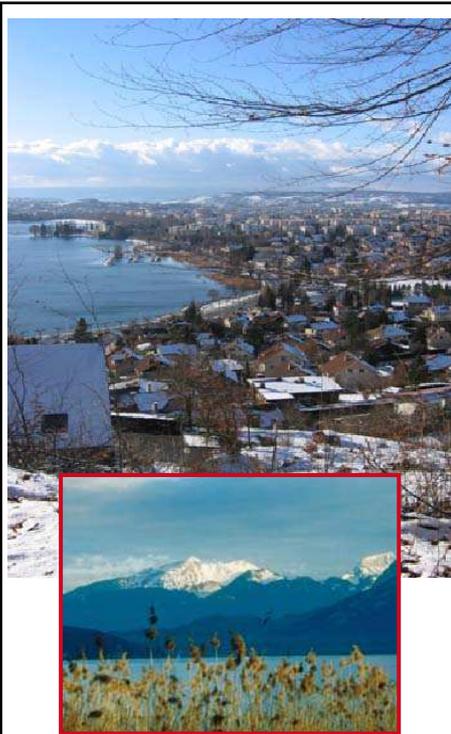
Le principe de l'aménagement de ce secteur, situé sur la commune de Tresserve, repose sur une refonte complète du parking et de la plage du Lido. La route, déplacée côté colline, sera enjambée par une « passerelle jardin » afin d'assurer une liaison piétonne sécurisée.

Les accès parking et riverains seront rétablis grâce à la création d'un carrefour giratoire en ellipse. Celui-ci accueillera en son centre un bassin (à macrophytes) destiné à récupérer et éliminer la pollution routière.







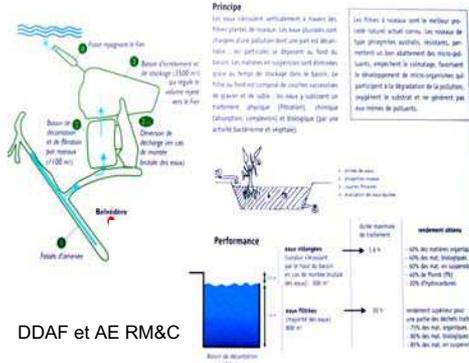


Zone des Glaisins (Annecy-Le-Vieux): Traitement des eaux pluviales

74

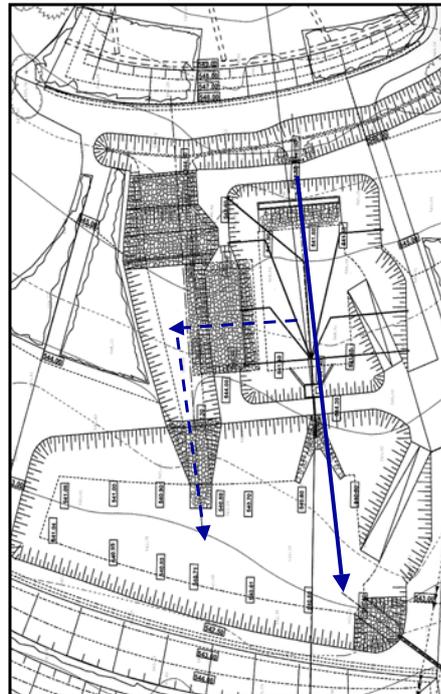
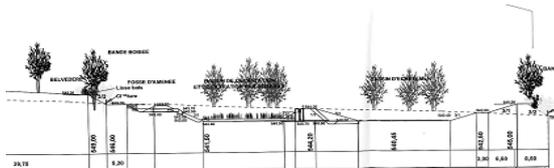


Ouvrages hydrauliques de traitement des eaux de ruissellement du bassin versant des Glaisins nord



DDAF et AE RM&C

Conception Cabinet Merlin



Conclusion

- Priorité à l'hydraulique...
- Les polluants suivent en partie le devenir des particules auxquelles ils sont liés.
- Rémanence des métaux mais capacités de fixation dans la rhizosphère
- Possibilités de dégradation des HAP par voies aérobies (action particulière des hélrophytes)
- Mécanismes nombreux, complémentaires à optimiser