

Résumé :

Les bassins de rétention et d'infiltration à ciel ouvert, techniques alternatives en plein essor pour la gestion des eaux pluviales, sont susceptibles de se végétaliser spontanément. Ils peuvent alors constituer de véritables zones humides anthropisées. Par ailleurs, cette végétation jouerait plusieurs rôles dans les mécanismes de transferts de pollution véhiculée par les eaux pluviales, tels que la bioaccumulation dans les parties aériennes ou racinaires de la plante ou la modification des paramètres physico-chimiques des sédiments.

Afin d'aider les gestionnaires de ces ouvrages, une méthodologie d'étude de la végétation naturelle d'un bassin d'infiltration des eaux pluviales est en cours de développement à deux échelles, l'échelle de l'ouvrage et l'échelle de l'espèce. Son expérimentation sur un bassin d'infiltration de l'agglomération lyonnaise a démontré d'une part son intérêt pour mettre en évidence l'organisation spatiale du bassin et sa biodiversité, et d'autre part la complexité des phénomènes de bioaccumulation.

■ Cadre Général :

Face aux exigences accrues de maîtrise des incidences de l'urbanisation sur le cycle de l'eau, les techniques d'infiltration des eaux pluviales sont en plein essor. Elles peuvent en effet constituer des réponses adaptées aux besoins de limitation des ruissellements et de maîtrise des transferts de polluants vers les milieux aquatiques récepteurs.

Parmi ces techniques, les bassins d'infiltration à ciel ouvert, ouvrages destinés à stocker temporairement les eaux pluviales contaminées avant de les restituer vers la nappe souterraine, sont susceptibles de se végétaliser spontanément. Les plantes qui colonisent l'ouvrage pourraient jouer différents rôles sur les transferts de polluants et plus particulièrement de métaux lourds : un premier rôle direct sur les métaux par bioaccumulation dans les racines et les parties aériennes, et/ou un deuxième rôle

indirect par la modification de caractéristiques physico-chimiques des sédiments accumulés au niveau de la surface infiltrante du bassin entraînant ainsi une modification de la mobilité des métaux et donc de leur transfert.

Cette végétation naturelle, composante du bassin d'infiltration, pose alors des questionnements nouveaux aux gestionnaires des ouvrages, qui sont face, non plus seulement à un bassin d'infiltration, mais potentiellement à une zone humide anthropisée, source de biodiversité. Quelles sont les espèces qui se développent spontanément ? Quels rôles jouent-elles dans les mécanismes de transfert de pollution ? Comment en tenir compte dans la conception et les pratiques d'entretien de l'ouvrage ?

■ Objectifs

L'objectif de ces travaux est d'apporter des éléments d'aide à la décision aux concepteurs et gestionnaires d'ouvrages, en développant une méthodologie d'étude du développement de la végétalisation des bassins d'infiltration, reposant sur une démarche progressive à plusieurs échelles.

L'étude de la végétation dans un bassin d'infiltration peut se faire à différents niveaux

- à l'échelle de l'ouvrage, pour l'identification des espèces dominantes et l'organisation de la végétation.
- à l'échelle de l'espèce, pour le suivi des teneurs métalliques accumulées à différentes saisons.
- à une échelle encore plus petite, pour l'étude de l'évolution de la mobilité des métaux lourds en présence de plantes.

Cette fiche se concentrera sur l'aspect méthodologique des études à l'échelle de l'ouvrage et à l'échelle de l'espèce.

■ Contacts :

Muriel SAULAIS; Jean-Philippe BEDELL - ENTPE L.S.E , rue maurice Audin, 69518 Vaulx en velin, Tel : 04 72 04 70 70, E-mail : muriel.saulais@entpe.fr; bedell@entpe.fr

Les avancées de l'OTHU : Principaux résultats

L'étude présentée a été menée en 2008 sur un bassin d'infiltration situé dans une zone industrielle de 185 ha de l'agglomération lyonnaise. Le bassin versant est drainé par un réseau pluvial séparatif. Néanmoins, des rejets parasites, tels que des eaux de refroidissement, ont été détectés par temps sec.

Ce bassin d'infiltration est précédé par un bassin de rétention, qui assure la décantation des matières en suspension. Le site, nommé « Django Reinhardt », date de 1975 et a connu une réhabilitation en 2002. Le bassin d'infiltration, d'une surface relativement plane d'environ 8000 m², est creusé dans des alluvions fluvioglaciaires. Depuis environ 2007, de nombreuses espèces viennent coloniser naturellement le bassin d'infiltration.

Étape 1 - Étude de la végétation naturelle à l'échelle du bassin d'infiltration

L'étude de la végétation à l'échelle de l'ouvrage permet de mettre en évidence la complexité du bassin d'infiltration.

1.1 Détermination des zones principales du bassin : Hétérogénéités spatiales et organisation de la végétation à l'échelle de l'ouvrage

La première étape consiste à distinguer les grandes zones du bassin en s'appuyant sur les différentes natures d'hétérogénéités spatiales du bassin : présence d'eau, densité de végétation... Ce premier zonage se fait à l'aide de visites in situ pour les bassins de petite taille et est complété par la prise de photos aériennes pour des bassins de surface importante tels que « Django Reinhardt ».

Ce bassin d'infiltration présente une hétérogénéité entraînée par la présence d'eau. La 1ère photo réalisée en avril 2008 présente une zone sombre, caractéristique d'une lame d'eau quasi permanente et une zone plus claire, présentant des teneurs en eau plus faibles (Figure 1). Ces deux zones se caractérisent également par la présence ou non de dépôts de sédiment.

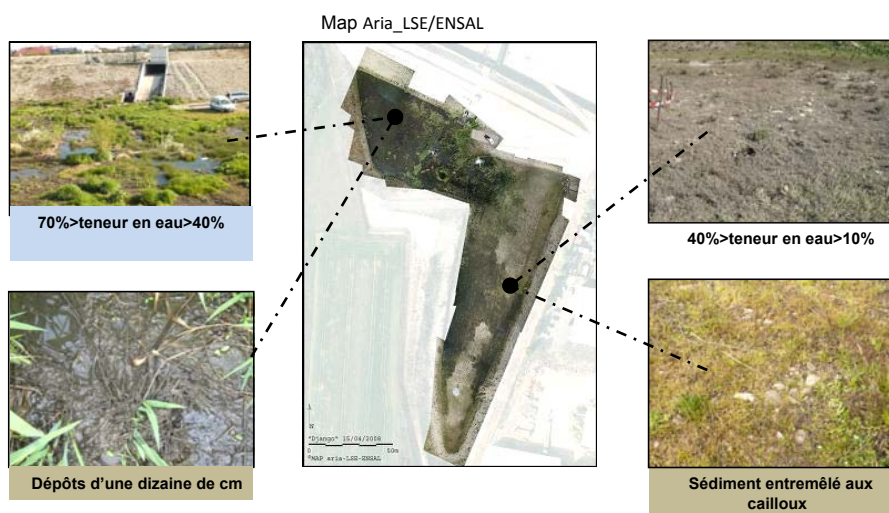


Figure 1 : Photo aérienne du bassin prise en avril 2008 : hétérogénéités spatiales du bassin

A ces hétérogénéités physiques correspond une végétation plus ou moins dense (Figure 2). Le pourcentage de végétalisation se situe entre 10 et 55% dans la zone sèche et au-dessus de 80% dans la zone humide.



Figure 2 : répartition de la végétation au sein de l'ouvrage

1.2. Réalisation d'un inventaire floristique permettant l'identification et la caractérisation des espèces dominantes

L'inventaire floristique a été réalisé à l'aide de quadrats (carrés en bois de 1m²) dans lesquels l'ensemble des espèces présentes sont répertoriées (figure 3.a) puis la surface est doublée jusqu'au moment où plus aucune nouvelle espèce n'est recensée. La surface obtenue est appelée « aire minimale » (figure 3.b). Le relevé floristique doit prendre en compte toutes les espèces présentes dans le quadrat ce qui peut poser quelques difficultés en ce qui concerne leur identification sur le plan de la systématique. C'est particulièrement le cas lorsque toutes les espèces ne sont pas fleuries au moment du relevé. Il est également important de noter que l'inventaire est uniquement représentatif de la période où il est réalisé, le moment de la floraison étant différent pour de nombreuses espèces.

Pour ce bassin de 8000 m², une trentaine de quadrats ont été nécessaires.

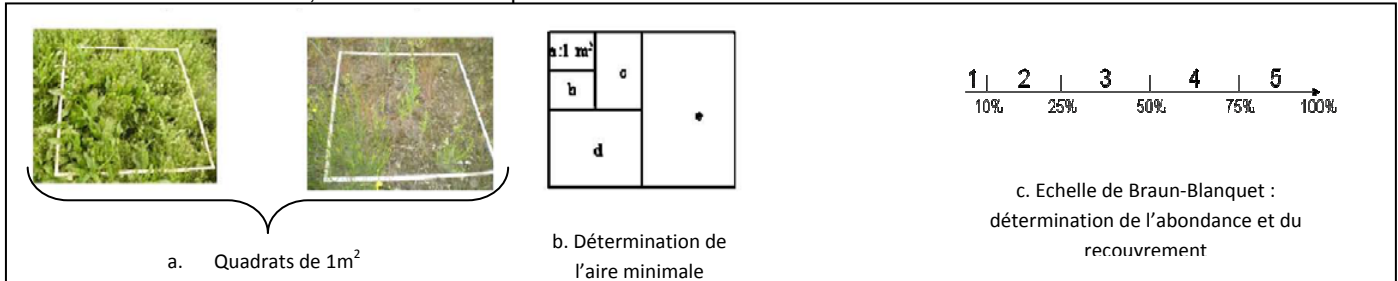


Figure 3 : Méthodologie de l'inventaire

On obtient alors l'aire minimale pour laquelle on note l'abondance et le recouvrement des espèces dominantes :

- le recouvrement se détermine par la projection verticale des parties aériennes sur le sol.
- le coefficient d'abondance exprime le nombre d'individus qui forment la population de l'espèce relativement à l'ensemble des autres espèces.

La méthode employée repose sur l'utilisation de l'échelle de Braun-Blanquet, qui prévoit d'attribuer un indice de 1 à 5. Cet indice ne tient pas compte du pourcentage de végétation de la zone. L'échelle de Braun-Blanquet repose sur les indices d'abondance et de recouvrement suivants : 1 : <10%, 2 : entre 10 et 25%, 3 : entre 25 et 50%, 4 : entre 50 et 75%, 5 : entre 75 et 100% (cf. figure 3.c). De nouveaux coefficients peuvent être calculés en fonction de l'évolution du pourcentage de végétation de la zone. Ces deux indices étant estimés visuellement, leur attribution est soumise à une part de subjectivité.

L'inventaire a permis de caractériser la végétation présente dans ce bassin en deux zones (Figure 4) :

- **La zone la plus sèche** se caractérise par une végétation typique d'une prairie avec comme espèces prédominantes, des poacées (*Lolium multiflorum*, *Poa angustifolia*, *Poa pratensis*), des astéracées (*Buphtalmum salicifolium*, *Conyza canadensis*, *Artemisia vulgaris*), des plantaginacées (*Plantago lanceolata*), des apiacées (*Daucus carota*). Le nombre d'espèces présentes dans une aire minimale donnée avoisine la vingtaine, ce qui entraîne une distribution des espèces dite « sociale éparse ». Elles sont alors disséminées ou regroupées en petits agrégats.
- **La zone humide** se caractérise, quant à elle, par une végétation typique d'une zone humide telles que *Eleocharis palustris*, *Phalaris arundinacea*, *Persicaria laxiflora*, *Scirpus lacustris*, *Rumex crispus*, *Typha latifolia*. Ces espèces de croissance et de recouvrement important laissent très peu la possibilité à d'autres espèces de se développer. L'organisation est alors dite en « patchs ».

Quelque soit la zone, sèche ou humide, les espèces dominantes sont indicatrices d'un milieu alcalin et riche en matière organique, notamment d'origine végétale, avec un risque d'asphyxie. Pour la zone sèche, les espèces dominantes décrivent un milieu soumis à de forts contrastes hydriques. Les espèces principales de la zone humide sont connues comme accumulatrices de métaux lourds, avec notamment la présence de *Thlaspi caerulescens* dont le biotope primaire est un site minier contaminé par des métaux lourds. Il peut être pertinent de vérifier si ces observations correspondent à une contamination de ces zones.

La description de la végétation est ainsi indicatrice d'un fonctionnement particulier de l'ouvrage avec notamment un écoulement préférentiel de l'eau.

Fort de cette hétérogénéité, ce site présente une importante biodiversité avec plus de 70 espèces recensées au printemps 2008. Le nombre élevé d'espèces et la présence d'espèces peut paraître atypique pour un milieu altéré.

Une fois le relevé réalisé, il est intéressant de comprendre le fonctionnement de ces espèces dans cette zone humide « anthropisée » et notamment d'identifier si ces espèces jouent un rôle directement sur les métaux lourds en les accumulant ou si elles interviennent plutôt sur la mobilité des métaux lourds dans le sédiment.

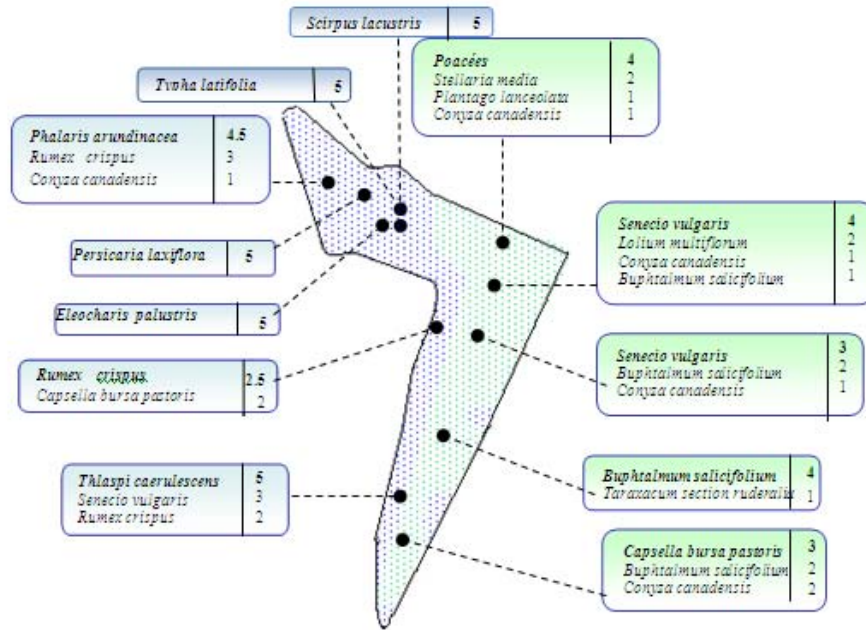


Figure 4 : Résultats de l'inventaire floristique avec les indices d'abondance des espèces au sein de l'ouvrage

Étape 2 - Étude de la végétation naturelle à l'échelle de l'espèce

2.1 Mise au point d'un protocole expérimental de l'étude à l'échelle de l'espèce

L'étude de la végétation, in situ, à l'échelle de l'espèce, doit vérifier plusieurs critères :

- L'espèce étudiée doit être une espèce dominante représentative du bassin ;
- L'étude in situ doit avoir lieu sur une zone de dominance de l'espèce choisie afin d'être sûre d'étudier l'effet de cette espèce ;
- L'étude de l'accumulation doit avoir lieu à différents moments de l'année qui correspondent à trois stades de croissance de la plante. Ce dernier critère intervient sur le plan pratique, les phases d'analyse et de traitement de chaque campagne se révélant particulièrement longues.

Pour ces différentes raisons, dans le cas du bassin de « Django Reinhardt », l'étude s'est consacrée à 3 espèces de la zone humide (Figure 5) de 3 familles différentes : Eleocharis palustris (cypéracées), Phalaris arundinacea (graminées), Typha latifolia (massettes).



a. *Phalaris arundinacea*



b. *Eleocharis palustris*



c. *Typha latifolia*

Figure 5: Photos des 3 espèces étudiées

Le suivi à plusieurs moments de cette année 2008 a porté à la fois sur quelques caractéristiques du sédiment sous-jacent à ces trois espèces (Figure 6 et Tableau 1) et sur les teneurs en Zn, Cd et Cu accumulées dans les parties aériennes et racinaires (Figures 6 et 7).

La figure 6 reprend le schéma expérimental de cette étape de suivi à différentes périodes.

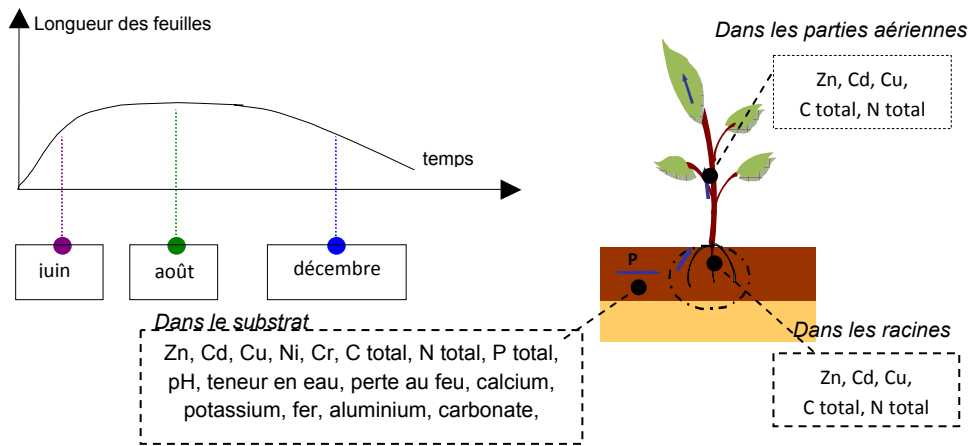
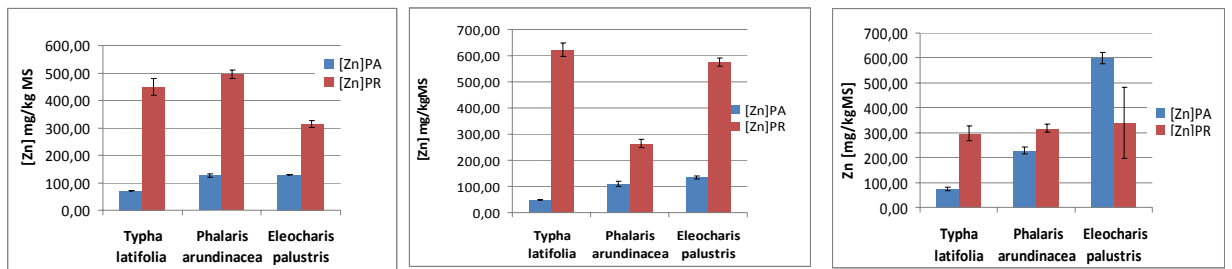


Figure 6: Schéma expérimental pour l'étude de l'accumulation métallique : dates des prélèvements et analyses réalisées.

Tableau 1 : Principales propriétés du sédiment sous-jacent aux plantes suivies (campagne de juin 2008) :

		pH	Teneur en eau (%)	Perte au feu (%MS)	C total (g/kgMS)	N total (g/kgMS)	Al total (mg/kgMS)	Fe total (mg/kgMS)	K total (g/kgMS)	Phosphore total (g/kgMS)	Calcaire total (g/kgMS)	Zn total (mg/kgMS)	Cd total (mg/kgMS)	Cu total (mg/kgMS)	Capacité d'échange cationique (még/kg)
<i>Typha latifolia</i>	moyenne	7,5	62,87	18,89	84,77	5,30	11290	18309	3,19	2,41	160,00	1397	3,83	245,3	130,7
	réplicat	0,1	1,35	0,13	22,25	0,26	534	566	0,19	0,05	3,60	12	0,11	16	2,1
<i>Phalaris arundinacea</i>	moyenne	7,6	60,43	19,51	83,10	6,67	10531	17378	2,97	2	135,70	1260	3,22	188,3	172
	réplicat	0,1	0,70	0,45	10,57	0,61	770	210	0,66	0,05	3,21	62	0,07	7,4	6,1
<i>Eleocharis palustris</i>	moyenne	7,5	56,50	19,32	87,60	6,20	11994	17709	3,6	2,3	200,00	1647	5,05	273,5	135
	réplicat	0	0,70	0,25	16,45	0,36	527	449	0,16	0,02	3,46	55	0,43	28,03	3,6



a. Campagne 1 : juin 2008

b. Campagne 2 : août 2008

c. Campagne 3 : août 2008

Figure 7 : Teneur en zinc accumulé dans les différentes parties des plantes suivies en juin, août et décembre 2008.

2.2 1ère exploitation des résultats

L'analyse des résultats, en cours, est réalisée à l'aide de l'outil statistique : Des analyses multivariées sont menées avec le logiciel ADE4 et complétés par des tests paramétriques (ANOVA) et non paramétriques (Kruskal Wallis) avec le logiciel libre « R ».

Ce suivi fait ressortir plusieurs tendances :

- L'analyse multivariée met en avant la diversité des échantillons. La plupart des paramètres physico-chimiques du sédiment sous-jacent à ces plantes varient de manière significative en fonction de l'interaction plante*saison. Il n'y a pas de paramètre physico-chimique particulier qui entraîne une distinction forte entre les sédiments des 3 espèces. Le sédiment de la zone de dominance de *Phalaris arundinacea* est cependant relativement plus sec, tendance particulièrement renforcée en août.
- Les teneurs en Cu, Zn, Cd dans les sédiments sont corrélées entre elles. On note une légère différence entre les zones avec des teneurs faiblement supérieures pour la zone à *Eleocharis palustris* et on note une évolution temporelle de ces concentrations. Les concentrations dans le sédiment sont relativement indépendantes des concentrations mesurées au sein des parties aériennes et des racines. Ce n'est pas le niveau de contamination qui expliquerait l'accumulation par les 3 plantes. On remarque également une indépendance entre les teneurs accumulées au niveau des racines et des parties aériennes. Même si l'accumulation se situe principalement au niveau racinaire, les tendances sont propres à chaque métal et à chaque plante. Aucune plante ne se distingue avec les plus fortes teneurs accumulées à toutes les saisons. *Eleocharis palustris* présente cependant un comportement particulier : alors qu'elle ne se distingue pas particulièrement lors des prélèvements de juin et août, elle présente des teneurs relativement élevées au sein de ses parties aériennes au mois de décembre, supérieures à celles des racines.

Cette étude présente donc la complexité de l'étude in situ de la croissance de plantes et de leur accumulation métallique.

■ Cadre d'utilisation

Le bassin d'infiltration étudié, défini ici comme un écosystème « anthropisé » offre les conditions nécessaires et suffisantes à une bonne croissance des plantes. Il est ainsi intéressant pour les gestionnaires, d'identifier les espèces pouvant naturellement se développer et d'évaluer la biodiversité de leurs ouvrages. Le relevé d'espèces peut permettre de détecter des plantes parasites voire allergogènes et de suivre l'évolution de leur recouvrement, en réalisant l'inventaire lors de leur période de floraison. L'étude à l'échelle du bassin permet également de mettre en avant la relation entre la typologie de végétation et le fonctionnement de l'ouvrage, ici caractérisé par l'écoulement de l'eau. L'étude simple de la végétation, même de manière moins poussée, peut ainsi faire ressortir les grands traits de l'ouvrage.

L'inventaire met en avant des espèces dominantes qui sont, jusque là, relativement peu couramment étudiées. Les travaux menés pourraient ainsi, à plus long terme, permettre de sélectionner certaines espèces dans un but paysager ou épuratoire/stabilisateur ou au contraire détecter des plantes qui augmentent la mobilité et donc le transfert des métaux. Le suivi des 3 espèces permet de mieux comprendre le développement naturel des espèces dominantes et d'étudier leur interaction avec les métaux lourds. Ce suivi doit permettre une meilleure gestion de ces espèces qui ne doivent pas être considérées comme uniquement des plantes sauvages mais comme des organismes pouvant interagir avec les polluants et pouvant faire évoluer les propriétés du milieu.

■ Développement futur

Sur le plan scientifique, cette étude se poursuit dans plusieurs directions:

- **Inventaire floristique d'autres bassins de rétention et infiltration.** Au vu des conclusions apportées par cette première étude, il paraît pertinent d'étendre ces travaux à d'autres ouvrages. En effet, les bassins d'infiltration font preuve d'une grande diversité avec des caractéristiques comme, par exemple, la taille du bassin, l'assèchement de l'ouvrage, la nature du substrat, la nature du bassin versant. D'autres sites, ont donc fait l'objet d'inventaire au printemps 2008. L'étude a été étendue à des bassins de rétention. Un développement futur consistera à étudier s'il en ressort des tendances générales ou si la végétation est propre au fonctionnement de l'ouvrage. A l'issue de ces travaux, les principaux caractères indicateurs des espèces dominantes des ouvrages seront déterminés et pourront être réappliqués pour des bassins complémentaires. La méthodologie a enfin été appliquée à un ouvrage végétalisé volontairement dont la construction remonte à 10 ans, dans le but d'étudier l'évolution de la végétation depuis sa conception.
- **Étude des teneurs accumulées par les espèces dans 8 zones hétérogènes du bassin.** Suite à l'inventaire de 2008, on peut se poser la question sur la relation entre diversité des espèces au sein du bassin et accumulation métallique. Pour cela, des prélèvements de parties aériennes ont été réalisés en avril 2009 au sein de 8 zones radicalement différentes au niveau des espèces et de la densité de végétation. L'objectif est alors d'avoir une toute première cartographie des teneurs accumulées à l'échelle de l'ouvrage.
- **Étude de la mobilité des métaux lourds.** Une étude complémentaire du suivi de l'accumulation des 3 espèces aborde la notion de mobilité. En effet, on note, d'une part, que les teneurs totales d'un sédiment ne suffisent pas à caractériser le risque potentiel de transfert métallique présenté par un sédiment et d'autre part, elles ne permettent pas non plus d'interpréter totalement l'accumulation par les différentes espèces. Une des clés de compréhension peut reposer sur l'étude de la mobilité des métaux sur les prélèvements de 2008. La mobilité est caractérisée notamment par la distribution des métaux au sein de différentes formes chimiques. L'étude est réalisée pour 2 espèces : *Phalaris arundinacea* qui présente des teneurs accumulées importantes dans les racines *Typha latifolia*, espèce plus couramment étudiée.
- **Étude de la litière.** Une des préoccupations essentielles des gestionnaires concerne l'entretien de ces bassins et notamment la gestion des déchets de végétaux : Faut-il tondre ? Faut-il favoriser une gestion naturelle de ce site en laissant les végétaux morts sur place ? Que faire des végétaux si on les enlève du site ? Ces interrogations n'offrent bien sûr pas de réponse immédiate. Une expérience a par contre été mise en place pour simuler le vieillissement de la litière incorporée à du sédiment. L'impact de la litière peut intervenir sur l'évolution des caractéristiques physicochimiques du sédiment et ainsi modifier la mobilité et le transfert des métaux lourds.

■ Documents publiés

-SAULAIS M., LEMOINE D., BEDELL J.P., DELOLME C. Collaboration photos aériennes : Saleri R. et Lequay H. labo MAP-ARIA ENSA Lyon Relations entre la dynamique de la végétation et les caractéristiques du sol : Caractérisation de la végétation colonisant spontanément un bassin d'infiltration. 10ème Journées de l'Etude des Sols. Strasbourg. 11-15 mai 2009.
- SAULAIS M., LEMOINE D., BEDELL J.P., DELOLME C. Collaboration photos aériennes : Saleri R. et Lequay H. labo MAP-ARIA ENSA Lyon. Caractérisation de la végétation colonisant spontanément un bassin d'infiltration. 3ème Séminaire Scientifique de l'OTHU. INSA de Lyon. 4 décembre 2008.
- SAULAIS M., LEMOINE D., BEDELL J.P., DELOLME C. Collaboration photos aériennes : Saleri R. et Lequay H. labo MAP-ARIA ENSA Lyon. Caractérisation de la végétation colonisant spontanément un bassin d'infiltration. Journées Plénières du LCPC. Lille. 27 et 28 novembre 2008.