

APPEL A PROPOSITIONS 2007

PROGRAMME INTERDISCIPLINAIRE - CNRS

Ingénierie écologique

Titre bref du Projet : *restauration des zones humides fluviales*

Titre long du Projet : *restauration des zones humides fluviales : de la prévision à la mesure du bénéfice écologique et social*

Projet de recherche

Coordinateur du projet :

Mme Gudrun Bornette

Fonction : DR2 CNRS

Laboratoire:

LEHF - UMR CNRS 5023 « Ecologie des Hydrosystèmes fluviaux »

Adresse complète du laboratoire :

43 Boulevard du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex

Courriel : gbornett@univ-lyon1.fr

Tél : 0472431294

Fax : 0472431141

Equipe(s) participant au projet :

Nom de l'équipe	Nom et prénom du responsable	Personnes impliquées	N° d'identification du laboratoire
Ecologie des communautés végétales	Gudrun Bornette	E. Martel (MCU) F. Piola (MCU) F. Vallier (technicien) MR Viricel (AI)	UMR CNRS 5023
Hydrosystèmes fluviaux	Hervé Piégay	Vincent Gaertner (AI, CNRS) Monika Michalkova (Doct.)	UMR CNRS 5600
Eau et Territoire	Anne Honegger	Marilyse Cottet (Doctorante)*	UMR CNRS 5600

*Cette doctorante a participé à l'école thématique intitulée « l'ingénierie écologique, des concepts aux perspectives pour la recherche » qui a eu lieu du 2 au 6 avril 2006 à Cargèse.

Partenaires institutionnels :

Conservatoire régional des espaces naturels Rhône Alpes

SIVU Basse Vallée de l'Ain

Principales publications récentes de l'équipe : (maximum 10 références)

Ecologie des communautés végétales :

- Godreau, V., Bornette, G., Frochot, B., Amoros, C., Castella, E., Oertli, B., Chambaud, F., Oberti, B. et Craney, E. 1999. Biodiversity in the floodplain of Saône: a global approach. *Biodiversity and Conservation* 8: 839-864.
- Bornette, G., Piegay, H., Citterio, A., Amoros, C. & Godreau, V. 2001. Aquatic plant diversity in 4 river floodplains : a comparison at two hierarchical levels. *Biodiversity and Conservation* 10 : 1683-1701.
- Bornette, G. and Arens, M.F. 2002. Charophyte communities in cut-off channels: the role of river connectivity. *Aquatic Botany* 73: 149-162.
- Amoros, C. & Bornette, G. 2002 Connectivity and biocomplexity in water-bodies riverine floodplains. *Freshwater Biology*: 47 : 761-776.
- Combroux, I., Bornette, G. & Amoros, C. 2002. Plant regenerative strategies after a major disturbance : The case of a riverine wetland restoration. *Wetlands* 22 : 234-246.
- Combroux, I., Bornette, G. 2004. Effects of two types of disturbance on seed-bank and their relationship with established vegetation. *Journal of Vegetation Science* 15 : 13-20.
- Puijalon, A.S. & Bornette, G. 2004. Morphological variation of two taxonomically distant plant species along a natural flow velocity gradient. *New Phytologist* 163 : 651-660.
- Puijalon, S., Bornette, G. & Sagnes, P. 2005. Adaptations to increasing hydraulic stress : morphology, hydrodynamics and fitness of two higher aquatic plants. *Journal of Experimental Botany* 56 : 777-786.
- Puijalon, S., Piola, F. & Bornette G. 2007. Abiotic stresses increase plant regeneration ability. *Evolutionary Ecology* (sous presse).

Hydrosystèmes fluviaux:

- Habersack H., Piégay H., Rinaldi M., 2007, "Gravel-bed rivers 6 : From process understanding to river restoration", Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas.
- Kondolf M.G., Piégay H., Landon N., 2006. "Changes in the riparian zone of the lower Eygues river, France, since 1830". *Landscape Ecology*.
- Piégay H., Grant G., Nakamura F., Trustrum N., 2006. « Braided river management : from assessment of river behaviour to improved sustainable development » *In Braided Rivers : Process, Deposits, Ecology and Management*, G.H. Sambrook-Smith, J.L. Best, C.S. Bristow and G.E. Petts (eds). Special publication 36 of the International Association of Sedimentologists. Pp. 257-275.
- Habersack H., Piégay H. sous presse "Challenges in river restoration in the Alps and their surrounding areas". In H. Habersack, H. Piégay, & M. Rinaldi "Gravel-bed River 6 : From process understanding to river restoration", Elsevier, Amsterdam.
- Rollet A.J., Piégay H., Citterio A. Sous presse. Impact des extractions de graviers en lit mineur sur la géométrie des zones humides périfluviales. *Géographie Physique et Quaternaire*.
- Piégay H., K.J. Gregory, V. Bondarev, A. Chin, N. Dalhstrom, A. Elozegi, S.V. Gregory, V. Joshi, M. Mutz, M. Rinaldi, B. Wyzga & J. Zawiejska, 2005. «Public perception as a barrier to introducing wood in rivers for restoration purposes». *Environmental Management*. 36(5) : 665-674.
- Amoros C., Elger A., Dufour S., Grosprêtre L., Piégay H., Henry C., 2005. « Flood scouring and groundwater supply in side-channel rehabilitation of the Rhône River, France ». *Archiv für Hydrobiologie*, Supplementband 155, 147-167.

Eau et territoire:

- PUECH D., RIVIERE-HONEGGER A., "L'eau dans la dynamique des territoires", in BERTONCIN M., SISTU G. (sous la direction de), *Acqua, attori, territorio*, Actes du 4^{ème} séminaire de géographie de l'eau, sept. 1999, Erasmus, Cagliari, CUEC, 2001, pp. 218-229.
- RIVIERE-HONEGGER A., "Une approche élargie des fonctions environnementales" in *Dynamique rurale, environnement et stratégies spatiales*, Montpellier, 13-14 septembre 2001, pp. 15-18.
- RIVIERE-HONEGGER A., "Qualité de vie et environnement", *Revue de l'Economie Méridionale*, n° 201-202, juin 2003, pp. 7-15.
- DEMARQUE M., PUECH D., RIVIERE-HONEGGER A., "L'outil comptable, support d'un système d'information sur les paysages et leur gestion "in PUECH D., RIVIERE-HONEGGER A., (sous la direction de), *L'évaluation des paysages : une utopie nécessaire ?*, Publications Montpellier III, 2004, pp. 191-204..

- RIVIERE-HONEGGER A., "Le difficile retour du « collectif » dans la gestion de l'eau : regards sur 15 années d'efforts en Camargue gardoise", *Cybergéo*, in GDR "RésEau", , "L'eau à la rencontre des territoires", octobre 2004.
- PUECH D., RIVIERE-HONEGGER A., (sous la direction de), *L'évaluation des paysages : une utopie nécessaire ?*, Publications Montpellier III, 2004, 610 p.
- RUF Th., RIVIERE-HONEGGER A., coordination et préface d'un numéro de la revue *Territoires en mutation*, "La gestion sociale de l'eau, concepts, méthodes et applications", n° 12, 2004, 260 p.
- RIVIERE-HONEGGER A., PETIT D., « Processus territoriaux et gestion de l'eau en Camargue gardoise », *Développement durable et territoires* (<http://www.revue-ddt.org>), dossier n°6, « Les territoires de l'eau », février 2006, 15 p.
- PUECH D., RIVIERE-HONEGGER, A AUDURIER CROS A., DEMARQUE GHERARDI M., « De l'incertitude au manque de fiabilité des informations : des défis majeurs pour une gestion efficace de l'environnement – le cas des paysages. », 17 èmes journées scientifiques de la Société d'Ecologie Humaine, colloque international, « Incertitude et environnement. Mesures, modèles, gestion. », Arles, 23-25 novembre 2005 (sous presse).
- BETHEMONT J., LE LAY Y., RIVIERE-HONEGGER A., « Les paysages de l'eau », in *Géoconfluence* (www.ens-lsh.fr/gеоconfluence/), 2006, 9 p.

Résumé de l'exposé scientifique du projet:

Les grands cours d'eau français sont soumis à des modifications de leur fonctionnement physique qui entraînent une disparition des zones humides fluviales. Le rôle essentiel de ces zones humides pour le bon fonctionnement et la conservation du bon état écologique des cours d'eau impose la mise en place d'outils de restauration qui prennent en considération le bénéfice écologique, physique et sociétal de ces milieux et sa durabilité. L'étude proposée a pour objectif de mesurer les bénéfices écologiques (biodiversité spécifique et diversité génétique induite par la restauration), physiques (vitesse de comblement dans les différentes situations géomorphologiques), et sociétaux (perception des zones humides par les acteurs) des restaurations des zones humides fluviales. Elle permettra de poser les bases d'un outil de mesure de l'efficacité et de la durabilité de la restauration en termes écologiques et humains.

Exposé scientifique du projet:

- Contexte scientifique et sociétal :

Les grands cours d'eau français sont soumis, parfois depuis plusieurs centaines d'années, à des modifications anthropiques de leur fonctionnement physique, principalement induites par les grands ouvrages de régulation (aménagements hydro-électriques, digues, barrages). Dans la majorité des cas, ces aménagements ont pour objectif de diminuer les variations hydrauliques des cours d'eau. Il s'en suit la diminution de la divagation latérale du lit mineur, l'arrêt de la création d'annexes hydrauliques, l'homogénéisation des habitats de la plaine alluviale, et par conséquent une disparition des zones humides fluviales (Bravard et al. 1997, van Geest et al. 2005). Le rôle des zones humides fluviales pour la conservation de la biodiversité et des services associés a été souligné récemment dans les textes émanant de l'Ecosystem Millenium Assessment. A l'échelon européen, une prise de conscience du rôle de ces zones humides pour le bon fonctionnement et la conservation du bon état écologique des cours d'eau a également été réalisée (Tockner, Ward et Stanford 2002), et a suscité la mise en place de programmes ambitieux (projet LOIRE grandeur Nature, ou projets LIFE Rhin, LIFE Ain). A l'échelon national, ces problématiques ont été relayées par des programmes nationaux (e.g. PNRZH) ou régionaux (SAGE, plan décennal de restauration du Rhône). Ces programmes ont pour certains d'entre eux eu pour objectifs de construire des outils de mesure (bon état écologique), de restauration (LIFE's), ou de renaturation des

zones humides (Plan décennal de restauration du Rhône), tout en tenant compte des enjeux sociologiques et culturels liés à ces milieux (RAMSAR, plan décennal de restauration, PNRZH...). Cependant, ils sont inscrits dans des durées courtes, qui permettent rarement de mesurer les bénéfices écologiques et sociétaux de ces restaurations. Les enjeux importants des opérations de restauration des zones humides fluviales sont donc 1) de maîtriser les processus impliqués dans la dynamique de ces écosystèmes, 2) de sélectionner les sites adéquats (en termes d'espérance de vie de la restauration, mais également du rapport coût-bénéfice de l'opération, 3) de construire des schémas d'intervention tendant à restaurer des processus liés au fonctionnement des cours d'eau, et non pas de restaurer des états, 4) de proposer des évolutions réalistes des systèmes restaurés, et enfin, 5) de mesurer à moyen et long termes les bénéfices de ces restaurations (Buijse et al. 2002). Les travaux menés par les équipes lyonnaises ont conduit à des avancées significatives dans la compréhension des processus impliqués dans la dynamique des zones humides fluviales, et dans les outils de sélection et les processus à mettre en œuvre pour restaurer les zones humides. Le bénéfice écologique de ces restaurations est en général mesuré au travers de la diversité de groupes taxonomiques considérés comme des descripteurs de fonctionnement (eg végétaux, invertébrés, poissons). Toutefois, peu de travaux ont été menés sur les conséquences en terme de diversité génétique (hétérozygotie ou de diversité allélique) potentiellement induite par la modification du fonctionnement des habitats, notamment chez les végétaux (e.g. augmentation de la fragmentation, ou de la dispersion, création de niches pour le recrutement de semences dormantes). La recolonisation naturelle par la faune aquatique de sites restaurés et son impact sur la diversité génétique de ces espèces (Hugues, 2007) dépend de la capacité des organismes à atteindre le site, donc entre autre de la capacité de dispersion des espèces et de l'accessibilité de l'écosystème restauré depuis l'habitat source de l'espèce. Chez les plantes, d'autres facteurs ayant un impact sur la diversité génétique peuvent être considérés tels que les modes de reproduction, sexuée ou végétative, qui peuvent se trouver modifiés dans les conditions après restauration (Williams and Davis, 1996). De surcroît, la mesure du bénéfice à moyen et long termes de ces restaurations reste encore majoritairement une donnée à acquérir, en particulier en ce qui concerne la durabilité de l'état restauré, et sa perception par les acteurs locaux (décideurs, gestionnaires, riverains et usagers).

Objectifs du projet :

Ce travail s'inscrit dans la continuité du programme LIFE « Basse Rivière d'Ain », et a pour objectifs de fédérer et de compléter les recherches menées dans le cadre de ce projet afin de construire des outils opérationnels de prédiction du bénéfice écologique, géomorphologique et sociétal des restaurations de zones humides fluviales.

La rivière d'Ain est une rivière de piémont, caractérisée par une pente forte et une charge de fond grossière. Jusqu'en 1940, cette rivière se caractérisait par une très forte mobilité latérale dans son cours aval, qui la rendait comparable à certaines rivières très dynamiques du territoire national, comme l'Allier dans le secteur de Moulin ou le Doubs aval. Elle est bordée dans ce même secteur par le massif calcaire du Bugey en rive gauche, ce qui conduit à ce qu'elle soit fortement alimentée par des infiltrations provenant de la nappe Karstique de ce massif. Elle se caractérise donc par des eaux fraîches, de très bonne qualité. La construction des barrages a conduit au tarissement des apports en charge de fond, et, depuis une cinquantaine d'années, à une incision progressive du lit. Cette incision conduit à la diminution, puis à la disparition de la divagation latérale de la rivière, donc à l'arrêt de la genèse de nouvelles zones humides fluviales. En parallèle, la modification des pratiques agricoles et l'augmentation de la pression anthropique sur les aquifères a exacerbé les changements écologiques. L'enfoncement des nappes dû à l'action combinée de l'incision et des pressions anthropiques (alimentation humaine, agriculture, industrie) conduit à la diminution

sensible de l'alimentation des zones humides par les aquifères, et *in fine* à leur assèchement.

Dans le cadre du programme LIFE « Basse Vallée de l'Ain », le travail avait consisté à sélectionner, sur la base des potentialités écologiques des zones humides et de leur durée de vie probable, plusieurs zones humides destinées à être restaurées. Ces zones humides ont été sélectionnées sur la base des critères de:

- bénéfice écologique potentiel (existence potentielle d'une alimentation par le Karst, réactivation de la dynamique fluviale)
- coût de la restauration compatible avec les potentialités du LIFE,
- durabilité de l'état restauré (en fonction de la vitesse de comblement du bras par les sédiments du lit elle-même fonction de la fréquence des connexions superficielles entre le chenal actif et la lône).

Ce travail de sélection s'est fait en concertation avec les acteurs de terrain, et grâce à la médiation de l'Agence de l'Eau. Les outils de sélection avaient été précédemment conçus et validés par les travaux de l'équipe « écologie des communautés végétales » (e.g. Bornette et al. 1996, Amoros & Bornette 1999) et les travaux interdisciplinaires conduits ensuite dans le cadre du PNRZH (Amoros & Bornette 2000).

Un travail de caractérisation physique et biologique des sites avant restauration a été réalisé, afin de disposer d'un état de référence le plus complet possible, et des prévisions concernant les attendus de ces restaurations ont été formulées. Les restaurations ont eu lieu en 2005 et en 2006. Le suivi post-restauration a donc porté sur 1 à 3 ans selon les sites.

Ce suivi a conduit à une évaluation instantanée de la restauration, un an après intervention. Par conséquent, nous ne bénéficions pas du recul nécessaire pour évaluer le bénéfice réel des opérations et pour valider les modèles prédictifs qu'ils soient écologiques ou physiques. De surcroît, du fait des délais très courts imposés par le LIFE, l'analyse a porté indépendamment sur les compartiments biologique et physique. Ainsi, le suivi des communautés végétales mené dans le cadre du programme LIFE porte sur 2 années au maximum après restauration, et n'a pas intégré les données anciennes. Pourtant, nous disposons sur la plupart des zones humides restaurées de données anciennes (physico-chimie, végétation) portant parfois sur une période de plus de 20 ans, qui permettraient, combinées à des suivis post-restauration plus ambitieux, de mesurer le bénéfice de la restauration en comparant la situation restaurée au fonctionnement passé de la zone humide. Enfin, les opérations de suivi n'ont pas intégré l'impact potentiel des restaurations sur la diversité génétique des populations.

Une opportunité existe également ici, compte tenu des données disponibles, d'envisager la biodiversité de ces milieux, non pas de manière statique, mais dynamique, en s'appuyant sur la modélisation de l'état physique (principalement hauteurs d'eau) de la zone humide à différentes dates pour caler la tendance biologique. Les modèles physiques permettant d'évaluer la durée de vie des zones humides à partir des enregistrements annuels de la sédimentation, élaborés dans le cadre du programme décennal de restauration du Rhône, notamment sur le site de Pierre Bénite où l'équipe dispose de 8 ans de suivi permettront de valider les espérances de vie des stades aquatiques des lônes de l'Ain.

Enfin, la perception sociale de ces restaurations n'a pas été envisagée dans le cadre du LIFE. Or, les zones humides fluviales sont des espaces soumis à des enjeux parfois contradictoires (conservation et protection d'espaces naturels patrimoniaux, développement des loisirs et du tourisme...), suscitant une forte pression pour leur utilisation (Baron-Yellès, 2000, Mathevet, 2004). Les perceptions propres à chaque groupe d'acteurs méritent de fait une attention particulière. Leur prise en compte permet de mieux comprendre les raisons de l'adhésion ou du rejet des acteurs locaux vis-à-vis des politiques de restauration mises en œuvre (Donadieu et al., 2004).

Le projet s'inscrit dans la continuité de ce programme LIFE et a pour objectif de mesurer les bénéfices écologiques, physiques, et sociétaux des restaurations des zones humides fluviales réalisées ou en cours de finalisation dans le cadre du LIFE « Basse Vallée de l'Ain », de prévoir l'évolution de la biodiversité au cours du temps en lien avec la dynamique morphologique du bras et de déterminer ainsi les dates au-delà desquelles les bénéfices attendus sont susceptibles de s'atténuer.

Dans ce contexte, il permettra d'articuler les travaux réalisés au cours de ce LIFE afin:

1) de compléter et d'enrichir la base de connaissances écologiques (biodiversité végétale) et de la coupler quantitativement aux variables physiques (qualité des eaux, processus sédimentaires) déjà constituée, afin de disposer d'un recul compatible avec une évaluation pertinente du bénéfice des restaurations ;

2) d'amorcer des travaux portant sur la mesure du bénéfice écologique en termes de diversité génétique. Dans ce but nos efforts porteront sur une espèce aquatique fortement représentée dans la vallée alluviale : *Berula erecta*, qui est fortement associée aux sites alimentés par les eaux souterraines et perturbés par les crues, et dont les mécanismes de reproduction (sexuée vs végétative), qui ont un impact sur la diversité génétique des populations, sont susceptibles d'être modifiés par la restauration ;

3) de calibrer et de valider les modèles opérationnels de quantification du bénéfice écologique (biodiversité spécifique et génétique) et de l'espérance de vie des stades successionnels (durabilité de l'état restauré, éventuellement auto-entretien) résultant de ces restaurations ;

4) de mesurer l'écart entre l'évaluation quantifiée (au travers des métriques biologiques et physiques) et perçue (en termes de perception de l'état restauré par rapport à l'état de référence, par exemple) de ces restaurations et d'évaluer l'adhésion sociale ;

5) de combiner ces différentes approches afin de construire un outil intégré de mesure du bénéfice des restaurations de zones humides.

Approche choisie :

L'étude intégrant les 3 champs thématiques (écologie, géomorphologie, géographie humaine) portera sur 5 lînes restaurées de 2004 à 2005 dans le cadre du programme LIFE. Les 5 lînes ont été sélectionnées parmi un panel de plus de 150 lînes réparties le long de la basse vallée de l'Ain. Dans tous les cas, un diagnostic du fonctionnement du site et des potentialités de restauration a été réalisé, à l'aide de critères écologiques, géomorphologiques et physico-chimiques. Pour cela, la même méthodologie a été appliquée dans toutes les situations et a consisté à réaliser :

- une analyse géomorphologique des sites (profils en travers, taux et vitesse de comblement, suivi des hauteurs d'eau) ;
- un inventaire floristique des zones humides avant la restauration. Dans certains cas, les lînes étaient suivies depuis plusieurs années, ce qui permet d'appréhender les dimensions temporelles respectives 1) de l'altération du site, et 2) de la dynamique post-restauration ;
- un suivi physico-chimique de la qualité des eaux avant restauration, permettant d'identifier les nappes impliquées dans l'alimentation de la lîne, et le degré d'altération du site par les processus d'atterrissement (réchauffement saisonniers, pics en ammonium et en phosphates) ;
- une analyse physico-chimique des sédiments permettant en particulier de mesurer l'importance relative des crues dans le comblement (teneur en matière organique) et charge trophique (teneur en phosphore) ;

Les mêmes analyses ont été réalisées l'année suivant la restauration (soit 2005 ou 2006).

Le travail se décomposerait donc en 5 volets :

- Volet 1 : suivi à long terme du bénéfice écologique de la restauration : le suivi consistera en une poursuite de l'inventaire floristique annuel pendant 2 ans, ce qui permettrait de bénéficier de 4 à 5 ans de suivi post-restauration, qui serait combiné soit 1) aux données anciennes sur les sites lorsque celles-ci sont disponibles (2 sites) ; 2) aux données issues de l'étude de la banque de graines avant restauration (2 sites). Ces données permettraient d'appréhender le bénéfice à long terme de la restauration, et en particulier l'impact de ces travaux sur les différentes métriques de la biodiversité. Elles permettraient en effet de mesurer 1) le degré de restauration des communautés préexistantes, 2) le bénéfice de la restauration pour la biodiversité instantanée du secteur alluvial, 3) l'impact sur les populations des espèces rares ou patrimoniales (recrutement, abondance relative).
- Volet 2 : mesure de l'impact à long terme de la restauration sur les caractéristiques physico-chimiques des sites. La restauration, en augmentant la connectivité des sites avec les aquifères, et en exportant une partie de la matière organique, est susceptible de diminuer la charge en phosphore et en azote de l'eau et du sédiment. L'augmentation du débit phréatique est susceptible de provoquer une augmentation de la stabilité thermique des eaux de surface et une diminution de la charge en ammonium de ces eaux. Tous ces facteurs devraient contribuer à diminuer la charge en nutriments des zones humides, et à favoriser les espèces les plus intolérantes à la pollution par l'ammonium. La mesure de l'intensité de ces effets, et de leur durabilité, pourra être réalisée grâce à la poursuite du suivi mensuel des caractéristiques physico-chimiques des sites restaurés, et à la confrontation de ces données avec les données anciennes collectées sur 4 de ces sites (données collectées, pour les plus anciennes, depuis 1993).
- Volet 3 : suivi à long-terme du bénéfice géomorphologique de la restauration : D'un point de vue géomorphologique, l'espérance de vie des lînes sera modélisée et validée sur les lînes de Pierre Bénite (Rhône) sur lesquelles nous disposons, dans le cadre du programme décennal de restauration du Rhône, d'un suivi annuel (1996-2007) et détaillé (possibilité d'appréhender l'espérance de vie moyenne mais aussi en tout point de la lîne, car nous disposons d'une bathymétrie détaillée, de hauteurs d'eau et des flux de matières en suspension). Il est ainsi possible de s'appuyer sur les concentrations de matières en suspension pour différents événements de crue, la cinétique (observée et modélisée) des écoulements dans la lîne et les conditions annuelles du dépôt. De fait, l'espérance de vie peut être calculée de manière précise et les modèles être également validés. Ce travail de calage permettra ensuite d'appliquer les modèles sur les zones humides de l'Ain afin de mettre en relation l'évolution morphologique et les caractères écologiques de ces milieux.
- Volet 4 : mesure comparée du bénéfice en termes de diversité génétique des populations de *Berula erecta* : cette angiosperme semi-aquatique est fortement représentée dans la vallée alluviale et le suivi de la structuration génétique spatiale de ses populations peut révéler des modifications en lien direct avec la restauration. En effet, *B. erecta* présente un système mixte de reproduction (sexuée/clonale). Le système de reproduction d'un organisme conditionne sa dynamique évolutive ainsi que la démographie et la structuration génétique spatiale de ses populations (Muirhead et Lande, 1997).. Chez les plantes à fleurs, la balance reproduction sexuée/propagation clonale peut varier en fonction des conditions du milieu (Eckert et al. 2000). Chez *B. erecta*, la contrainte environnementale (immersion constante ou possibilité de conditions émergées) influe sur le choix du mode de reproduction et le

courant influe sur la dispersion des individus. La comparaison de la diversité génétique des populations de *B. erecta*, dont l'estimation sera réalisée à l'aide des marqueurs moléculaires (ISSR et AFLP), dans les sites sélectionnés, sera donc un indicateur des changements de conditions environnementales liés à la restauration. Le bénéfice écologique sera alors apprécié en terme de diversité génétique.

- Volet 5 : mesure du bénéfice perçu : l'analyse de la perception des zones humides s'effectuera par le biais d'un photo-questionnaire. A partir de photographies présentant différents bras morts dont l'état écologique et géomorphologique est connu, et ce en situation estivale avant et après restauration, les personnes soumises à l'enquête auront à estimer la variabilité des points de vue à la fois la valeur esthétique et écologique de ces milieux ainsi que les usages qui en sont faits. Les personnes retenues pour l'enquête sont à la fois des riverains (élus, écoliers, habitants), des usagers (pêcheurs, chasseurs), et des acteurs de ces milieux (scientifiques, gestionnaires).

La confrontation des différentes métriques retenues dans les différents champs disciplinaires permettra de poser les bases d'un outil de mesure de l'efficacité et de la durabilité de la restauration en termes écologiques et humains, de simplifier les démarches de suivi afin que celles-ci puissent être facilement mises en œuvre par les praticiens. Ce travail devrait permettre par ailleurs d'aider les maîtres d'ouvrage à mieux définir leurs actions et leur priorité en matière d'intervention grâce aux critères décisionnels aux modèles qui seront proposés.

Résultats attendus et modes de valorisation :

L'approche morphologique devrait permettre d'estimer l'espérance de vie d'une zone humide fluviale qui est un paramètre clé pour les décideurs lorsqu'ils s'engagent dans une telle démarche. La compréhension de l'évolution physique de la lône restaurée est nécessaire pour pouvoir aborder une prévision dynamique de la biodiversité des sites et identifier les conditions-seuils au-delà desquels les bénéfices écologiques deviennent moins pertinents.

L'enquête photographique apportera des éléments sur la perception des zones humides par les différents acteurs, qu'il s'agisse des usagers ou des décideurs. En particulier, elle permettra de comprendre si le bon état écologique est perçu par les différents groupes sociaux et si la perception qu'ils ont de l'état écologique correspond à la réalité et est en lien avec la qualité esthétique de ces milieux. Certaines variables susceptibles d'influencer la perception (largeur et profondeur du chenal, niveau trophique, nature du plan d'eau...) seront évaluées afin de définir celles qui jouent un rôle dans la perception de ces milieux. On pourrait ainsi envisager, à terme, d'inclure aux objectifs de restauration des éléments se rapportant à l'esthétique des milieux, dans la mesure où ces derniers seraient compatibles avec les objectifs écologiques.

Deux types de valorisation sont envisagés : i) des productions scientifiques interdisciplinaires (communication dans des colloques ou dans des revues abordant les questions environnementales telles que *Environmental Management*, *River Research and Applications* ou *NSS*), ii) des recommandations en matière d'ingénierie écologique formulées auprès des gestionnaires engagés dans ces restaurations (Esp. Naturel de France, CNR, Nature Conservancy en Californie) via des journées techniques ou les études de suivi qu'ils nous ont confiées, ii) des cahiers ou guides techniques, à destination des gestionnaires de l'environnement.

Références citées :

- Amoros, C. and Bornette, G 1999. Antagonist and cumulative effects of connectivity: a predictive model based on aquatic vegetation in riverine wetlands. *Archiv für Hydrobiologie, Suppl.* 115/3: 311-327.
- Amoros, C., Bornette, G. et Henry, C.P. 2000 A vegetation-based method for the ecological diagnosis of riverine wetlands. *Environmental Management* 25: 211-227.
- Baron-Yellès N., 2000, Recréer la nature, écologie, paysage et société au marais d'Orx, éditions rue d'Ulm, 215 p.
- Bornette, G., Amoros, C., Henry, C. & Chiarello, E. 1996. Diagnostic des potentialités évolutives des zones humides fluviales du Rhône. Rapport final de la première phase: Méthode de diagnostic fonctionnel. Rapport à la Compagnie Nationale du Rhône et à l'Agence de l'Eau. 50 p. + tables et exemples de cartographie.
- Bravard, J.P., Amoros C., Pautou, G., Bornette, G., Bournaud, M., Creuzé des Châtelliers, M., Gibert, J., Peiry, J.L., Perrin, F., et Tachet, H.1997. Stream incision in Southeast France : morphological phenomena and impacts upon biocenoses. *Regulated Rivers* 13 : 75-90.
- Buijse A.D., Coops H., Staras M., Jans L.H., Van Geest G.J., Griff R.E., Ibelings B.W., Oosterberg W. & Roozen F.C.J.M. 2002. Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Freshwater Biology*, 47, 889-907.
- Donadieu P., Dumont-Fillon N., Lambrey E., 2004, « Les conditions de l'adhésion sociale à la politique de conservation des zones humides », PNRZH, actes du colloque, Toulouse, 22-24 octobre 2001, 136-147.
- Eckert CG, Massonnet B and Thomas JJ. 2000. Variation in sexual and clonal reproduction among introduced populations of flowering rush, *Butomus umbellatus* (Butomaceae). *Can. J. Bot.* 78 : 437-446.
- Hughes JM. 2007. Constraints on recovery: using molecular methods to study connectivity of aquatic biota in rivers and streams. *Freshwater Biology* 52 (4): 616-631
- Mathevet R., 2004, Camargue incertaine. Sciences, usages et natures. Ed. Buchet Chastel, Col Ecologie, Paris, 201 p.
- Muirhead CA and Lande R. 1997. Inbreeding depression under joint selfing, outcrossing and asexuality. *Evolution* 51 :1409-1415.
- Tockner, K. & Stanford, J.A. Riverine floodplains: present state and future trends: *Environmental Conservation* 29: 308-330.
- Van Geest G.J., Coops H., Roijackers R.M.M., Buijse A.D. & Scheffer M. (2005) Succession of aquatic vegetation driven by reduced water-level fluctuations in floodplain lakes. *Journal of Applied Ecology*, 42, 251-260.
- Williams SL, Davis CA , 1996. Population genetic analyses of transplanted eelgrass (*Zostera marina*) beds reveal reduced genetic diversity in southern California. *Restoration Ecology* 4 (2): 163-180