

Projet BioMareau

**Conséquences des travaux d'entretien
du lit de la Loire sur plusieurs composantes
de la biodiversité au sein de la mosaïque
des îles de Mareau-aux-prés (Loiret).**

**Compte rendu final :
synthèse des travaux de recherche**

(juillet 2012 - juin 2015)

Coordinateur : Marc Villar
Inra Val de Loire, site d'Orléans

Contexte, problématique et objectif de l'étude

Sur la Loire, des travaux d'entretien et de restauration du lit sont réalisés dans l'objectif de maintenir la capacité d'écoulement du fleuve et d'éviter la réduction de sa section active (fermeture de bras morts, naissance d'îles). La Loire dans le département du Loiret n'échappe pas à ces travaux d'entretien et le Pôle Loire (DDT45) a fait part en 2011 aux gestionnaires de la Réserve Naturelle Nationale de Saint-Mesmin du projet de dévégétalisation, d'arasement et de scarification d'un îlot central de la mosaïque d'îles de Mareau-aux-prés (incluses dans cette réserve). Or cette zone très précise fait l'objet depuis 2007 d'études de génétique sur le Peuplier noir (*Populus nigra*, Salicaceae) et d'interaction végétation ligneuse/sédiments depuis 2007. Après discussion avec les gestionnaires et les décideurs, le projet scientifique 'BioMareau' a vu le jour autour de cette action anthropique sur le réservoir de biodiversité de cette mosaïque d'îles. L'objectif de ce projet est de mesurer les conséquences de ces travaux sur quatre communautés représentatives et interconnectées de la biodiversité ligérienne (flore vasculaire, insectes coléoptères Carabidae, oiseaux des grèves et castor d'Europe).

Présentation du site, historique de l'île et hydrogrammes 2013 et 2014

Ces îles de Mareau-aux-prés sont situées dans le département du Loiret, en aval d'Orléans et incluses dans la réserve de St-Mesmin : elles constituent une mosaïque de quatre îlots (identifiés de A à D ; 12,7 ha) et d'écotopes d'âge différents : (i) la partie ancienne (écotopes 2059a et 2059b de l'îlot B), qui correspond actuellement à une forêt de bois dur (Chênes, Noyers ...) (ii) la partie en aval qui correspond à des ripisylves matures de peupliers noirs (15-25 ans, écotopes 2059c, 2060, 2062 de l'îlot B et écotope 2061 de l'îlot A), (iii) la partie centrale (îlot C), qui correspond à une barre sédimentaire végétalisée par du peuplier noir depuis 2004 et (iv) la partie en amont (îlot D) correspondant à une prairie à chiendent, largement colonisée par le peuplier noir et l'érable *negundo*. Ces différents îlots et écotopes, d'âges variés (de plus de 50 ans à 8 ans) présentent une diversité biologique remarquable, construite autour d'un assemblage de communautés faunistiques et floristiques.

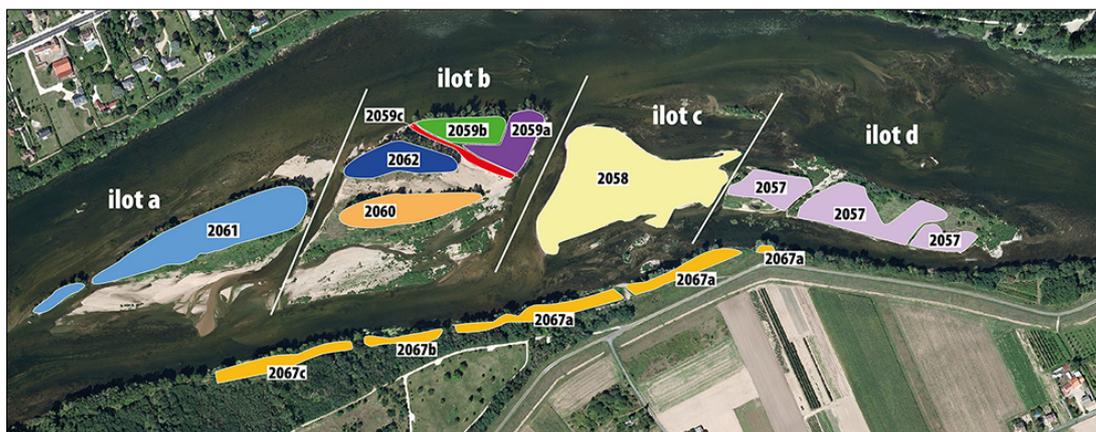


Fig. 1 : Ilots et écotopes (ou unités écologiques) de l'étude. L'îlot C (ou écotope 2058, 2,9 ha) a fait l'objet des travaux de restauration mentionnés précédemment, en septembre 2012.

En 1830, l'île de Mareau-aux-prés figurait déjà sur la carte d'État-major avec un figuré de grèves. Les premières photos aériennes de 1948 présentent une île massive et en partie boisée. Cette configuration se maintient jusqu'à la fin des années 1960. Ensuite, l'île a été remaniée et fragmentée par un réseau de chenaux conduisant au réagencement actuel en îlots. Ainsi, la superficie forestière de l'île a été à son minimum au début des années 1980 puis s'est accrue jusqu'au début du projet 'BioMareau'. Suite aux remaniements précités, l'îlot C est apparu à la fin des années 1990 et n'a commencé à se boiser qu'à la fin des années 2000. Il s'agit de la partie la moins mature de l'île de Mareau-aux-prés.

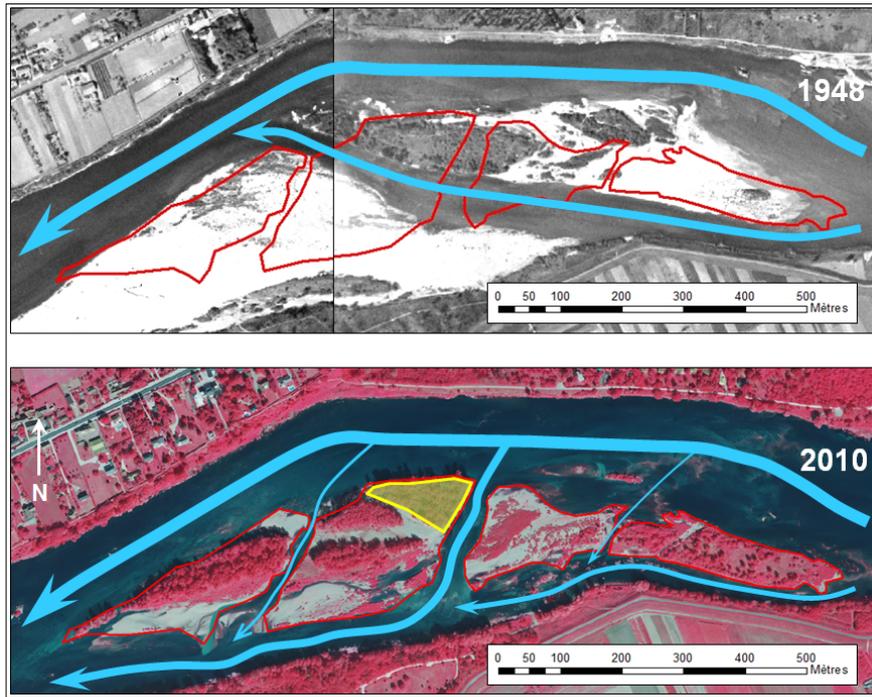


Fig. 2 : Île de Mareau en 1948 et en 2010. Les tracés bleus représentent les chenaux dont la puissance estimée est proportionnelle à leur épaisseur. La partie en jaune délimite la relique forestière de 1948.

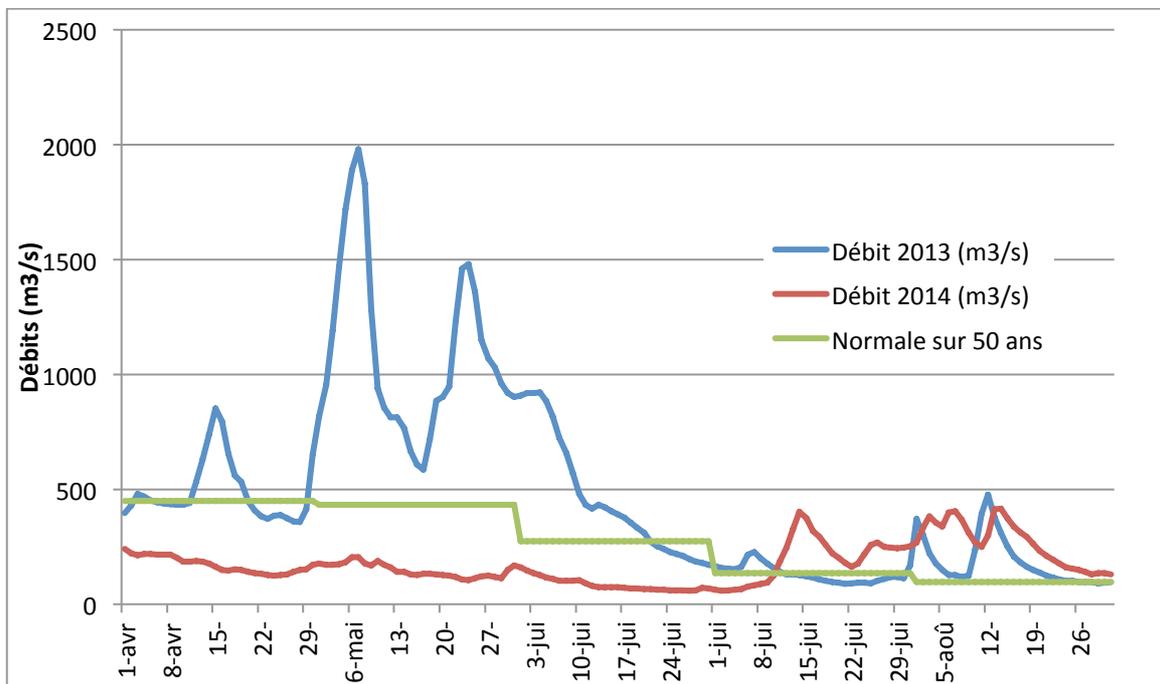


Fig. 3 : Hydrogrammes de la Loire à Orléans - avril-août 2013-2014 (données HYDRO – MEDDE/DE).

Les deux années d'étude ont présenté des hydrogrammes atypiques en 2013 et 2014, qui ont vraisemblablement impacté la biodiversité en cours d'installation (Fig. 3). L'année 2013 a été caractérisée par des crues importantes et tardives au printemps et deux microcrues fin juillet et mi-août, qui ont submergé l'îlot C. L'année 2014 a été caractérisée par un niveau bas au printemps et des niveaux anormalement hauts de mi-juillet à mi-août (recouvrant l'îlot C au pic de crue autour du 14 juillet et la première quinzaine d'août).

Le projet est articulé autour de quatre tâches structurantes :

- **Tâche 1. Inventaire, cartographie et dynamique de recolonisation de la végétation herbacée, arbustive et arborescente**
Coordination : S. Greulich CITERES Université de Tours,
partenaire : R. Chevalier, H. Martin IRSTEA
partenaire : V. Jorge, V. Guérin, M. Villar Inra AGPF
- **Tâche 2. Inventaire, cartographie et dynamique de recolonisation des Coléoptères Carabidae**
Coordination : S. Augustin, O. Denux Inra URZF,
partenaire : E. Dauffy-Richard, A. Ndiaye IRSTEA
partenaire : JP. Rossi, CBGP Montpellier
partenaire : Entomotec
- **Tâche 3. Inventaire, cartographie et dynamique de recolonisation par les oiseaux des grèves**
Coordination : M. Chantereau, D. Hemeray Loiret Nature Environnement
- **Tâche 4. Etude du report de la consommation ligneuse par les castors**
Coordination : M. Villar, Inra AGPF
partenaire : B. Dimouro INRA GBFor
partenaire : A. Marell, IRSTEA

A ces quatre tâches structurantes sont adossées deux tâches transversales :

- **Tâche transversale A. Géoréférencement et cartographies**
Coordination : S. Rodrigues GÉHCO Université de Tours
Partenaire : P. Jugé CETU Elmis Université de Tours
- **Tâche transversale B. Coordination, gestion projet et valorisation**
Coordination : M. Villar Inra AGPF et l'ensemble des partenaires

Tâche 1a - Végétation : Cartographie des communautés végétales des îles avant et après travaux

Cette partie du projet traite de la cartographie des types de végétation et des inventaires floristiques des îlots qui composent l'île de Mareau. Une attention particulière est portée à l'îlot central (îlot C) qui a été arasé en septembre 2012.

La **cartographie des types de végétation** a été réalisée suivant une maille systématique de 15 m, en utilisant la typologie de Cornier (2003). Moyennant quelques adaptations, cet outil s'est avéré tout à fait pertinent.

Sur les 13 ha de l'île de Mareau, 11 types de végétation ont été spatialisés (Fig. 4). Sept types, occupant 81 % de la superficie, correspondent à des habitats Natura 2000. Les grèves basses (sur 4,9 ha) et les peupleraies facilement inondables (sur 3,4 ha, habitat prioritaire) sont prépondérantes. La diversité des types de végétation est plus importante sur les îlots les plus matures dont une partie est moins exposée aux crues. La principale conséquence de l'arasement de l'îlot C (2,8 ha), initialement constitué de 4 types de végétation, est le remplacement de 1 ha de peupleraie par des grèves. Aucun type de végétation n'a été éradiqué ni n'est apparu sur l'île de Mareau suite à l'arasement de l'îlot C.

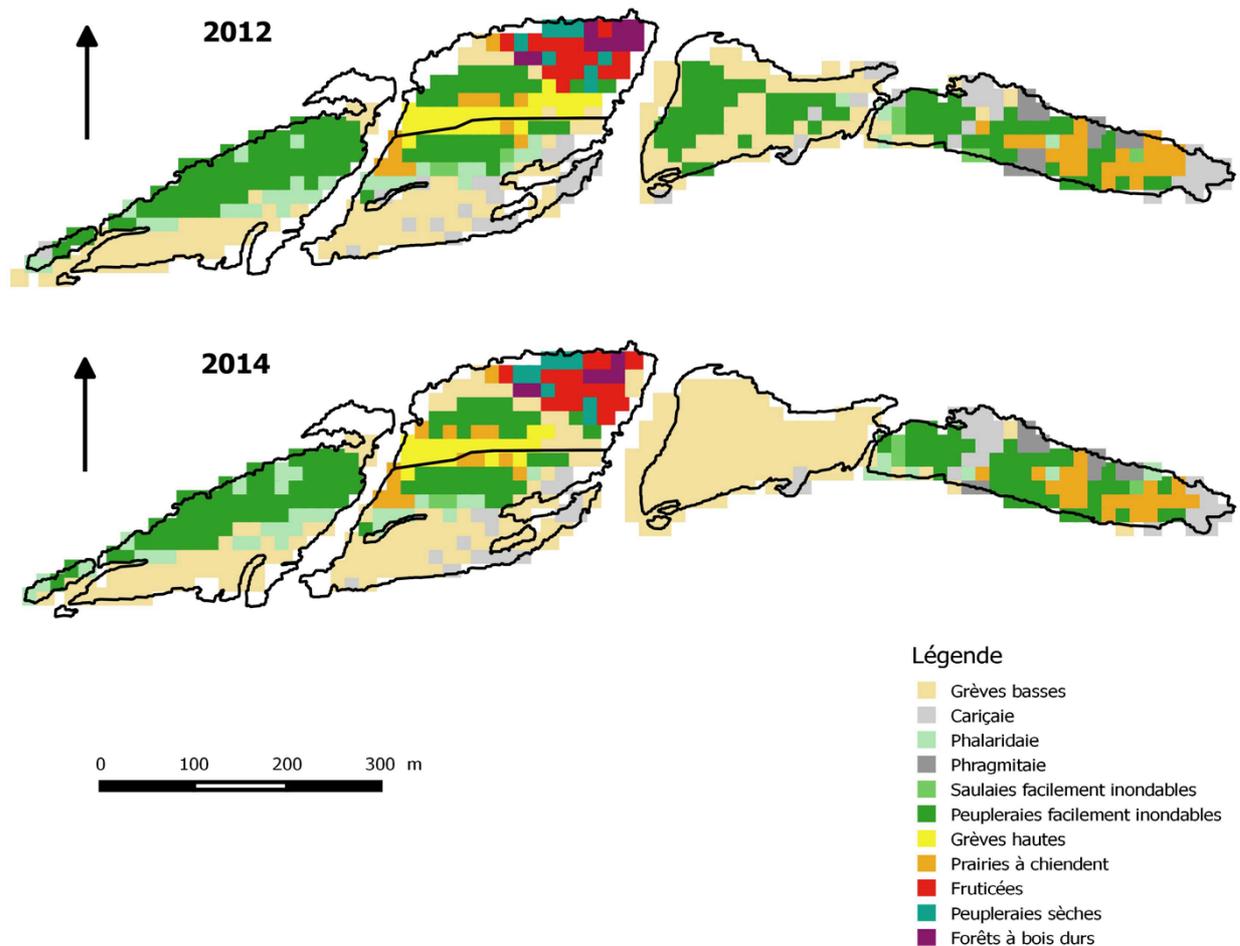


Fig. 4 : Cartes des 11 types de végétation de l'île de Mareau en 2012 (avant arasement de l'îlot C) et en 2014. Les tracés noirs délimitent le contour des îlots en 2010.

Le travail précédent a été complété par la **cartographie du couvert du peuplier noir et de l'érable négundo** qui sont les deux essences d'arbres prépondérantes dans la dynamique de la végétation de l'île de Mareau. Le peuplier noir est une espèce patrimoniale alors que l'érable négundo est une espèce invasive avérée.

Si le couvert moyen de chacune des deux essences est similaire (proche de 10 %), des variations importantes sont observées suivant les îlots et les types de végétation. Globalement, les habitats facilement inondables sont légèrement plus propices à l'érable négundo alors que les habitats plus élevés sont nettement plus favorables au peuplier noir. Le problème d'invasion par l'érable négundo est crucial pour les peupleraies facilement inondables où chacune des deux essences occupe légèrement plus de 30 % du couvert.

L'inventaire floristique de chacun des 4 îlots qui composent l'île de Mareau a été réalisé de façon reproductible. 387 espèces ont été inventoriées dont 8 patrimoniales strictes (protégées ou qui figurent dans le livre rouge Centre) dont une seule bien représentée (la Pulicaire commune) et 20 invasives avérées dont 8 préoccupantes pour le site (Érable négundo, Aster lancéolé, Solidage géant, Ludwигie à grandes fleurs, Ambroise élevée, Vigne-vierge, Bident feuillé, Lindernie fausse-gratiolle). Il existe de fortes variations annuelles de richesse spécifique (jusqu'à 20 %) en fonction du régime hydrologique et principalement des crues printanières et estivales. Suivant les îlots, il y a une corrélation positive entre la diversité des types de végétation et la richesse spécifique, les habitats moins facilement inondables jouant alors un rôle bénéfique.

Deux ans après travaux, seulement 2/3 de la richesse spécifique de l'îlot C est reconstituée (Fig. 5). La seule espèce patrimoniale stricte est réapparue (Pulicaire commune). Les espèces pérennes des prairies et des friches ne sont pas revenues. La reconstitution se fait plus rapidement pour les cortèges de banalisation que pour les cortèges patrimoniaux. A l'échelle du site, les travaux d'arasement de l'îlot C (initialement le plus pauvre en espèces) n'a quasiment pas provoqué d'extinction ni d'apport de nouvelles espèces.

Nous pouvons conclure que, sur la durée du projet, si les travaux ont porté une atteinte significative aux cortèges floristiques de l'îlot C, l'atteinte demeure modérée à l'échelle de l'ensemble de l'île de Mareau.

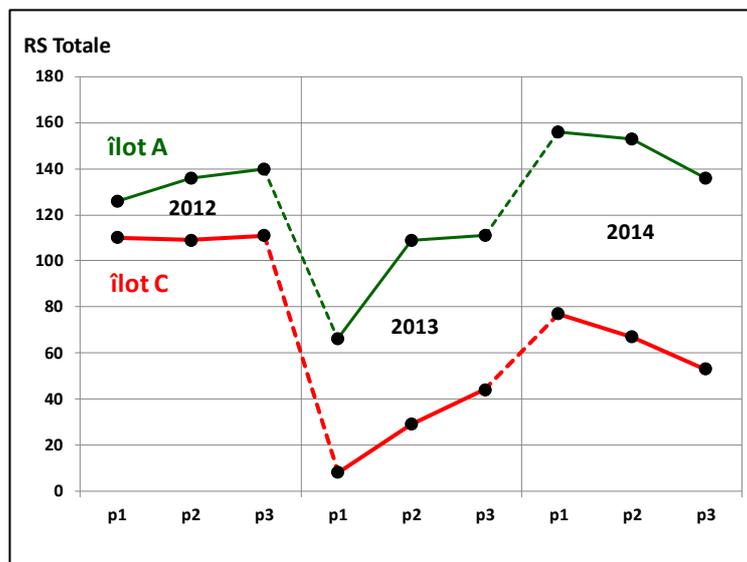


Fig. 5 : Évolution de la richesse spécifique totale de l'îlot C (arasé en 2012) et de l'îlot A (le plus ressemblant à l'îlot C) au cours des 9 passages en inventaire réalisés en 2012, 2013 et 2014. Les travaux de restauration sur l'îlot C ont eu lieu après le 3^{ème} passage d'inventaire en 2012 (p3 de 2012).

Tâche 1b - Végétation : Etude des processus d'installation de la végétation

Matériel et méthodes : la végétation présente sur l'ensemble des îlots avant travaux a été échantillonnée sur cinq stades représentatifs de la succession (grèves, peupleraies arbustives, prairies à chiendent, forêt de bois tendre, forêt âgée ; placettes de 5 m x 5 m, 3 réplicats par stade). Des échantillons de sédiments ont été prélevés sur chaque placette avant travaux pour l'étude de la banque de graines. Après travaux, les diaspores (graines et fragments végétatifs) arrivées sur l'îlot en (re)formation lors des crues ont été quantifiés et la végétation installée a été relevée. Ces informations permettent (i) de connaître la composition potentielle de la végétation de l'îlot (diaspores), (ii) de la comparer à la végétation effectivement installée (quantification de l'importance des filtres environnementaux), (iii) de connaître les liens végétation exprimée – banque de graines lors du processus de colonisation et dans le cas d'une végétation établie depuis longtemps. L'étude de la banque de graines a été réalisée au laboratoire en mettant les sédiments en culture avec deux traitements (en eau pour permettre la germination de la végétation aquatique, et humide pour permettre la germination de la végétation terrestre). Les sédiments restants ont ensuite été triés sous la loupe binoculaire pour compter le nombre de graines non germées.

Résultats : les densités des banques de graines avant travaux étaient comprises entre 509 et 22126 graines * m⁻². Les variabilités interplacettes étaient particulièrement importantes dans les premiers stades de la succession végétale (Fig. 6). Le taux de recouvrement par la végétation établie pour le cas des grèves était compris entre < 1% et 65 % (août 2012).

Un an après travaux, l'îlot en formation correspond au stade « grève ». La végétation exprimée en juillet/août 2013 recouvre moins de 5% de l'ensemble des 15 placettes échantillonnées. Aucun fragment végétatif n'a pu s'implanter. La densité de la banque de graines est significativement plus faible et moins variable que celle des grèves de l'année précédente (8620 ± 11775 graines * m⁻² en 2012 vs. 136 ± 149 graines * m⁻² en 2013 - Fig. 7)

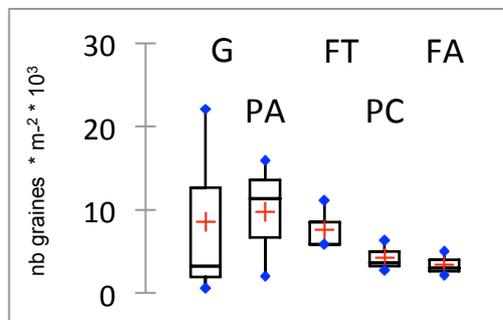


Fig. 6 : Densités des banques de graines sous les différents types de végétation. G : grèves, PA : peupleraie arbustive ; FT : forêt de bois tendre ; PC : prairie à chiendent ; FA : forêt âgée.

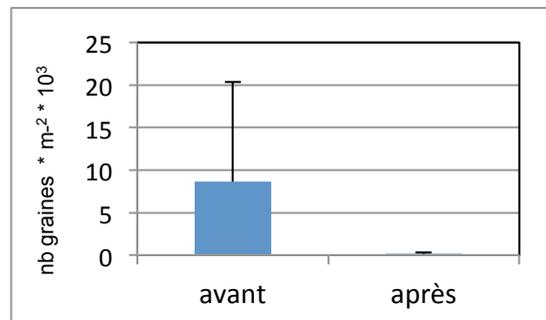


Fig. 7 : Densités de la banque de graines au stade grève avant travaux (l'ensemble des îlots ; N= 3) et après travaux (sur l'îlot en reformation N=15).

Discussion et perspectives : les résultats montrent que l'apport en diaspores par l'eau sur une nouvelle grève est faible. Ceci limite la possibilité qu'une nouvelle végétation abondante s'y installe rapidement. Ce résultat suggère que la colonisation se fait surtout à partir de végétaux déjà installés à proximité ou présents sur le site l'année précédente (recrutement à partir de la banque de graines). La vitesse de reconstitution d'une banque de graines devra faire l'objet d'un suivi à plus long terme.

Nos résultats montrent que relativement peu de graines arrivent sur un nouveau site par l'eau ou par les sédiments, malgré des connections potentiellement fortes avec des sites en amont via les crues. La végétation d'un site donnée, même en plaine alluviale et même lors des premiers stades de la succession, dépend donc en grande partie de la végétation déjà présente les années précédentes ou présente à proximité.

Tâche 1c - Végétation : cas particulier de la régénération par le Peuplier noir sur la nouvelle barre sédimentaire

Dans cette partie, nous nous attachons à un autre niveau de la biodiversité, représenté par la diversité génétique (ou diversité intraspécifique) au sein de l'espèce patrimoniale *Populus nigra*. La diversité génétique constitue le carburant des êtres vivants pour permettre à une population de survivre et de se reproduire sous des conditions environnementales changeantes. La nouvelle barre sédimentaire apparue après travaux (îlot C) constituait le site idéal pour suivre un événement de régénération de populations de peuplier noir. **Les objectifs de cette action sont d'étudier la composition génétique de ces nouvelles populations de semis de Peuplier noir et de rechercher une éventuelle microstructuration spatiale au sein de ces populations sur l'îlot C.** Cette diversité génétique a été analysée sur l'événement de régénération 2013 et a été comparée à celle présente au sein de la population de peuplier noir présente sur îlot C avant travaux (installée à partir de 2005, données disponibles avant le projet).

Matériels : 51 spots (avec 31 semis /spot) ont été sélectionnés et échantillonnés en septembre 2013, de surface et de forme variable suivant la densité et la forme des bandes de régénération. 18 spots ont été échantillonnés sur l'îlot C, comparés à 3 spots sur l'écotope 2057, 9 spots sur l'écotope 2059, 16 spots sur l'écotope 2060 et 5 spots sur l'écotope 2061 (dont un spot datant de 2011).

Méthodes d'analyse de l'ADN : après extraction de l'ADN, le génotypage des individus a été réalisé par 9 marqueurs microsatellites, et la lecture du polymorphisme par le logiciel GeneMapper 4.1.

Analyse de génétique des populations : nombre d'allèles observé (N_a), nombre d'allèles attendu (N_e), taux d'hétérozygotie observé (H_o), taux d'hétérozygotie attendu (H_e), indice de fixation (F_{is}), indice de différenciation global et entre les populations (F_{st}) ont été estimés à l'aide du logiciel GenAEx 6.5. A partir de ces données, une approche multi-locus bayésienne a été utilisée pour déterminer le nombre le plus probable de populations génétiquement différenciées dans l'échantillonnage étudié (via le logiciel Structure 2.3.3).

Analyses des mesures *in situ* : le niveau topographique des spots varie d'environ 3 mètres (altitude entre 83,5m et 86,5m). La hauteur des semis varie de 24 mm à 201 mm (moy = 47mm). La densité des spots varie de 2 semis/m² à 412/m² (moy = 57/m²). La densité des spots et le niveau topographique ne sont pas corrélés (cor = 0,06ns), par contre il existe une faible corrélation entre la hauteur moyenne et l'altitude par spots (cor = 0,29*).

Analyses multivariées sur les données moléculaires : l'analyse des loci sur l'ensemble des individus montre une très grande variabilité en terme de nombre d'allèles (8 à 23 allèles) et d'hétérozygotie ($0,2 < H_o < 0,8$ et $0,3 < H_e < 0,8$). L'indice de différenciation génétique entre spots par locus est de 0,032, ce qui peut être considéré comme une valeur globalement forte chez les arbres forestiers. Cependant, la matrice des différenciations génétiques par paires de population nous montre qu'il existe une différenciation génétique globale faible entre spots, sauf pour les 3 spots de l'écotope 2057 et le spot témoin 61-6 de semis de l'année 2011 (au sein de l'écotope 2061) qui possèdent une différenciation plus forte par rapport aux autres écotopes (Fig. 8). L'analyse 'Structure' n'a pas permis de détecter plusieurs populations génétiquement différenciées dans l'échantillonnage étudié. Enfin, nous disposons de données ADN de la population de peuplier noir présente sur l'îlot c avant travaux : la comparaison avec les principaux paramètres génétiques des spots de semis 2013 a montré qu'il n'existe pas de différence avant et après travaux de la diversité génétique du peuplier noir sur l'îlot C.

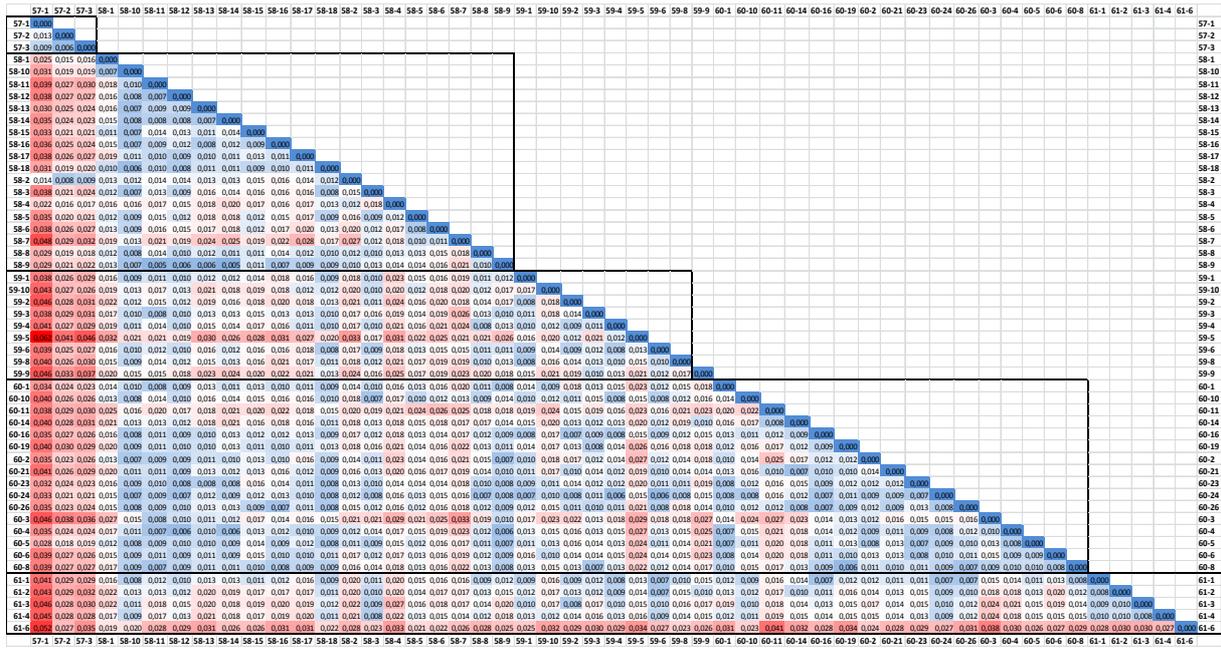


Fig. 8 : Estimation d'indice de différenciation génétique (F_{st}) par paire de spots. Seuls, les spots de l'écotope 2057 (îlot D) et du spot 61-6 de l'écotope 2061 (îlot A) de 2011 se différencient des autres spots. Les deux premiers chiffres correspondent aux deux premiers chiffres des écotopes.

Discussion : l'analyse génétique de 1674 semis de 50 spots de régénération nous permet de conclure qu'il n'existe pas de structuration spatiale des semis de peuplier noir en 2013, ni de structuration en populations génétiques ou que **les différences de la composition génétique sont trop faibles pour détecter la présence de sous-populations génétiques**. De plus, aucune différence n'a été détectée avant et après travaux de la diversité génétique sur l'écotope 2058. Cette conclusion doit être mise en relation avec l'hydrogramme de la Loire en 2013 (cf introduction). Une crue importante et inhabituelle en mai 2013 a induit l'apparition tardive de la barre centrale (aux environs du 17 juin). Or la période de dissémination des graines avait débuté mi-mai et on peut penser que les graines qui se sont installées à partir du 17 juin sont issues de peupliers noirs 'tardifs', c'est à dire des arbres qui présentent une date de maturité des graines tardive. Ce paramètre étant sous fort contrôle génétique, on peut penser que la base génétique des graines qui ont trouvé un site favorable à la germination uniquement à partir du 17 juin est relativement réduite donnant lieu à des populations de semis homogènes. La comparaison des fréquences alléliques avec les populations d'arbres adultes environnants permettrait de confirmer cette hypothèse.

D'autre part, les microcrues estivales du mois d'août (cf introduction) ont pu apporter une deuxième perte de variabilité par l'enfouissement de certains semis (les plus petits ?) sous de nouveaux sédiments apportés par la dynamique fluviale, ou par leur arrachage suivant l'importance de l'implantation du semis au regard de la texture sédimentaire. Un point de comparaison avec une autre année serait nécessaire pour conforter cette hypothèse.

Discussion et perspectives : environ 10% de la faune nationale en Carabidae a été trouvée sur les habitats ligériens pionniers échantillonnés. Cette richesse se conjugue avec une forte spécificité et vulnérabilité des espèces pour ces habitats [ex : 6 espèces déterminantes en région Centre-Val de Loire ; *Harpalus flavescens* en liste rouge régionale et qui n'avait pas été retrouvée depuis plus de 40 ans ; *Odontium velox* dont la Loire constitue la dernière zone où l'espèce subsiste en France (Coulon 2005)]. La RNN de St-Mesmin avec environ 0,002% de la surface totale du Loiret héberge 25,5% des espèces de Carabidae connues du département (Secchi et al. 2010) et constitue donc un haut-lieu pour la conservation de la biodiversité.

L'arasement a eu un impact immédiat sur la richesse spécifique même si les espèces dominantes sont les mêmes après les travaux. Les assemblages sont en effet appauvris mais restent typiques des habitats ligériens. Les espèces ubiquistes qui auraient pu recoloniser prioritairement l'îlot C après son arasement sont absentes. Cela illustre la forte spécificité des cortèges présents avec les habitats ligériens pionniers. Reste à savoir quelle est la capacité de recolonisation des espèces non retrouvées après l'arasement et l'impact à plus long terme sur la stabilité des cortèges présents.

Tâche 3 - Inventaire, cartographie et dynamique de recolonisation par les oiseaux des grèves.

L'étude des oiseaux présente de nombreux intérêts quand on étudie l'impact de travaux sur la composition de communautés animales : relative facilité d'identification au niveau spécifique pour un observateur expérimenté, nombre limité d'espèces, activité surtout diurne, communautés aviaires présentes dans tous types de milieux, y compris perturbés. L'intérêt le plus évident est la réaction immédiate des oiseaux lors d'une perturbation : ils fuient très rapidement un milieu devenu hostile, mais leur retour peut-être très rapide, par les mêmes espèces ou par des espèces différentes si la perturbation a modifié de manière conséquente le milieu. Les oiseaux pouvaient donc légitimement être considérés comme un bon modèle pour cette étude.

Les travaux réalisés en 2012 sur l'île de Mareau ont consisté à raser totalement un îlot. La barre sédimentaire qui s'est reconstitué en 2013 doit constituer un habitat potentiel pour les oiseaux nichant au sol comme la Sterne pierregarin (*Sterna hirundo*), la Sterne naine (*Sterna albifrons*) ou le Petit gravelot (*Charadrius dubius*). La Sterne naine ayant la majorité de ses effectifs français sur l'axe Loire-Allier, et tout particulièrement en Loire moyenne, une attention particulière a été apportée à cette espèce. Ces milieux sont également très importants comme site de repos pour de nombreux laro-limicoles qui recherchent des îles dépourvues de végétation sur lesquelles ils se posent en groupes parfois conséquents, ce qui leur permet de garantir leur sécurité : ils peuvent repérer d'éventuels prédateurs arrivant par la voie aquatique ou par la voie aérienne. Ces sites sont enfin utilisés comme zone de nourrissage, surtout quand les niveaux d'eau sont à la baisse et qu'apparaissent des surfaces recouvertes de limons et de vases, favorables au développement d'animalcules.

Matériels et méthodes : des observations ont été menées depuis les deux rives de la Loire, de la fin du mois de mars jusqu'au début de l'été, soit la période potentielle de reproduction des oiseaux nicheurs sur les grèves. Puis, la période de dispersion des juvéniles et de migration post-nuptiale a été suivie par des observations à un rythme hebdomadaire.

Résultats : avant les travaux, l'avifaune nicheuse de l'îlot C se limitait à quelques espèces des bords de rivière : un couple de Rousserolle effarvatte (*Acrocephalus scirpaceus*), de Rossignol philomèle (*Luscinia megarhynchos*), deux couples de Bruant des roseaux (*Emberiza schoeniclus*) et un couple de Bergeronnette grise (*Motacilla alba*).

Après les travaux, la Sterne pierregarin, présente en permanence sur le site en période de reproduction, n'a pas niché et aucun indice fiable indiquant une tentative de reproduction n'a été rapporté, ni en 2013, ni en 2014. En ce qui concerne la Sterne naine, il n'y a pas eu de nidification en 2013. Par contre, en 2014, des tentatives de reproduction ont été notées à plusieurs reprises avec des oiseaux commençant à couvrir (un seul le 23 mai, 2 le 27 mai, 3 le 30 mai). Pour des raisons inconnues, plus une seule Sterne naine ne couvait le 2 juin.

Pour le Petit gravelot, des parades nuptiales ont été observées en 2013, pour trois couples qui ont occupé la partie sud-ouest de l'îlot C, dès que le site a présenté des surfaces sableuses suffisamment étendues pour que cette espèce qui niche au sol trouve des conditions favorables à la nidification. Ces manifestations ont duré quelques jours et ont cessé dans les tout derniers jours de juin. Tout au long du mois d'avril 2014, les effectifs de cette espèce ont été élevés : jusqu'à 16 oiseaux le 30 avril, avec cris et parades nuptiales. 10 individus étaient encore présents le 12 mai dont un en train de couvrir, mais pour des raisons inconnues, la nidification ne semble pas avoir été menée à son terme.

L'autre limicole nicheur est le Chevalier guignette (*Actitis hypoleucos*) : deux couples se reproduisent à proximité de l'îlot C (nicheur rare dans le Loiret), utilisé par l'un des mâles comme poste de surveillance et de nourrissage.

Parmi les migrateurs, de nombreuses espèces de limicoles ont été observées, y compris quelques espèces peu communes comme l'Avocette élégante (*Recurvirostra avosetta*), le Bécasseau maubèche (*Calidris canutus*) ou le Bécasseau sanderling (*Calidris alba*).

Discussion et perspectives : les travaux d'arasement ont eu un impact important sur la composition de l'avifaune présente sur l'îlot C. Les espèces de passereaux ubiquistes qui nichaient au préalable ont disparu. Par contre les espèces attendues, la Sterne pierregarin et la Sterne naine, qui installent leur nid sur les bancs sablo-graveleux, n'ont pas niché. Il est difficile de savoir si les conditions de hauteur de l'eau de la Loire, très défavorables à l'installation des oiseaux en 2013 et en 2014, sont le principal obstacle à la reproduction ou si d'autres contraintes y ont contribué, en particulier le dérangement d'origine humaine. On ne peut pas exclure que l'installation d'une colonie nicheuse sur l'île de Mareau se fasse au bout de plusieurs années. Le site est par contre devenu une zone importante pour les stationnements estivaux et les migrations automnales. C'est probablement le site de migration le plus important pour les laro-limicoles de la Loire orléanaise, entre Sandillon et Beaugency.

Tâche 4 - Modifications du comportement alimentaire du Castor d'Europe après les travaux et impact sur la végétation ligneuse des autres îlots

Dans cette tâche, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'étude de l'impact des travaux d'entretien du lit de la Loire sur les interactions Castor d'Europe - Salicaceae. En effet, sur la Loire, et notamment au sein des îles de Mareau-aux-prés, les populations de peuplier noir et de saules (*Salix spp.*) subissent une importante pression par le castor d'Europe (*Castor fiber* L.) présent dans le secteur d'étude depuis 1982. Or, l'îlot central des îles de Mareau-aux-prés qui a été entièrement dévégétalisé en septembre 2012 constituait la principale zone d'alimentation (essentiellement sous forme de rejets de peuplier noir) d'une famille de castor d'Europe. Le terrier-hutte de cette famille (six individus) est localisé au nord de l'écotope 2059a (îlot B, cf. introduction). Ainsi, nous avons étudié les modifications du comportement alimentaire de *C. fiber* après les travaux et l'impact sur la végétation ligneuse des autres îlots. Pour cette étude, des données avant (juillet-août 2012) et après travaux (juillet 2013 et 2014), liées à la végétation ligneuse (espèce, port végétal, circonférence) et à la pression d'herbivorie (traces fraîches ou anciennes, pourcentages d'annélation sur les tiges adultes touchés et présence de tiges adultes tombés), ont été collectées et analysées sur l'ensemble de la zone.

Résultats : au sein de la mosaïque d'îles, que ce soit d'un point de vue port végétatif (tiges adultes vs buissonnant) ou spécifique (*P. nigra* vs. *Salix spp.*), la végétation ligneuse est irrégulièrement distribuée (Tab. 1). En effet, l'étude a permis de mettre en évidence l'importante proportion de tiges adultes (circonférence > 8cm) de *P. nigra* (> 90%) dans la majorité des écotopes, avec cependant environ 40% de tiges adultes de *S. alba* dans l'écotope 2067 situé sur la berge rive gauche. Concernant les ligneux présentant un port buissonnant (rejets sur souche de *P. nigra* et *S. alba* ou arbustif pour les autres *Salix spp.*) l'étude a permis d'observer une importante proportion notamment dans les îlots centraux (2057, 2060 et 2061).

	Écotopes				
	2057	2060	2061	2062	2067
Surface (m ²)	3203,69	3820,18	11259,3	3663,93	5726,14
Circonférence moyenne (cm)	56.81 ± 28,95 (a)	73.1 ± 28,73 (b)	82.98 ± 37,00 (c)	82.5 ± 33,13 (c)	131.2 ± 64,10 (d)
Nombre de tiges adulte de <i>P. nigra</i>	247	247	592	255	98
Nombre de tiges adulte de <i>S. alba</i>	23	1	2	0	63
Nombre de rejets sur souche de <i>P. nigra</i>	171	192	204	10	18
Nombre de rejets sur souche ou arbustes de <i>Salix. spp</i>	81	33	69	1	20

Tab. 1 : Caractéristiques des écotopes de la zone d'étude en 2012.

L'étude des 1528 tiges adultes, qui ont été géoréférencées et suivies durant trois années a permis de montrer les conséquences significatives des travaux d'entretien du lit de la Loire sur la biodiversité en modifiant notamment les interactions Castor / Salicaceae. En effet, les analyses réalisées à partir des données concernant les tiges adultes en 2013 et 2014, comparées à celles de 2012 ont permis de mettre en évidence un bouleversement important au sein de l'écotope 2057 (le moins touché en 2012 avant les travaux) et de l'écotope 2067 et également des impacts au sein de l'écotope 2061 (mesurés uniquement en 2014) (Fig. 10). De façon surprenante, la famille de castor n'a pas reporté son alimentation sur les écotopes 2062 et 2060, écotopes les plus proches de son terrier-hutte.

Discussion : les résultats des tâches précédentes ont permis de montrer les conséquences directes des travaux sur l'îlot C. Cependant, dans cette tâche, nous avons montré que les travaux sur cet îlot arasé ont également eu des conséquences indirectes sur la biodiversité des autres secteurs de la mosaïque d'îlots. En effet, en modifiant son cheminement alimentaire, afin de rechercher de nouvelles zones d'alimentation, la famille de castor a

intensifié sa pression d'herbivorie, dans des zones relativement préservées avant les travaux. Cette herbivorie s'est focalisé sur le peuplier noir, espèce majoritaire et patrimoniale de ce secteur de la réserve naturelle de St-Mesmin. Concrètement, 185 peupliers noirs adultes sont tombés par les castors (12 %) entre 2012 et 2014 (circ. moy = 47,6cms).

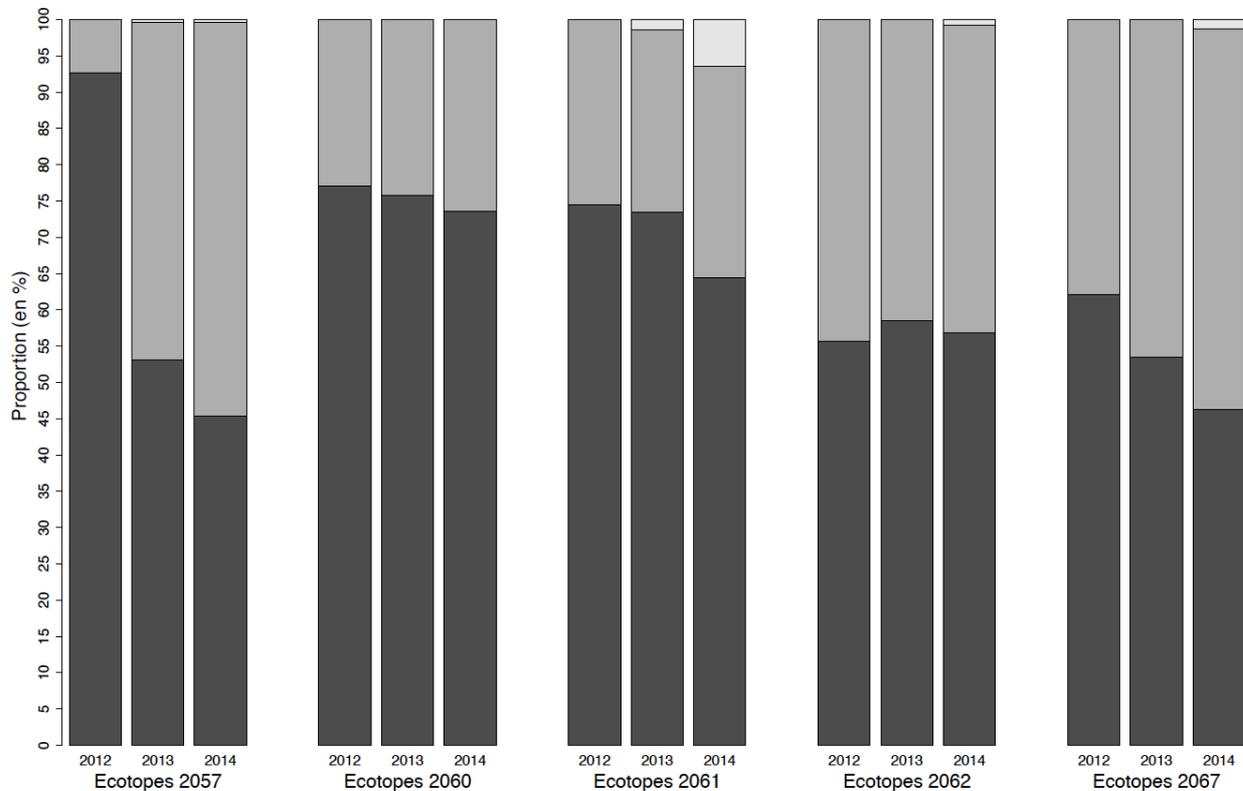


Fig. 10 : Evolution de la proportion de tiges adultes touchées par écotope entre 2012, 2013 et 2014

- Tiges adultes non retrouvées
- Tiges adultes touchées
- Tiges adultes saines

Même si, biologiquement ces arbres peuvent rejeter de souche, l'érable negundo (*Acer negundo*), espèce pionnière et invasive, présente en sous étage profitera de la trouée de lumière pour se développer et ainsi concurrencer les jeunes rejets de peuplier. De plus, une étude ADN génétique est en cours, pour savoir si le pool génétique de l'espèce *Populus nigra* n'a pas été affecté par ce nouveau cheminement alimentaire et notamment au sein de l'écotope 2057, écotope le plus fortement impacté depuis les travaux.

Tâche A - Etude de la remobilisation des sédiments post-travaux de dévégétalisation / reprofilage

Les travaux de dévégétalisation et reprofilage opérés en 2012 sur la barre sédimentaire de Mareau-aux-Prés visaient à la remobilisation des sédiments de la barre dans l'objectif d'enrayer le processus d'incision du chenal principal. Nos objectifs étaient les suivants :

- Evaluer la réponse morphologique de la barre suite aux travaux de dévégétalisation et déterminer leur efficacité ;
- Comprendre la dynamique sédimentaire de cette barre au cours des deux années qui ont suivies les travaux, spécifiquement au cours des épisodes de crue.

Matériel et méthodes : pour atteindre nos objectifs, des mesures combinant bathymétrie, topographie, courantométrie, granulométrie des sédiments, relevés stratigraphiques et chaînes d'érosion ont été réalisées au droit de la barre sédimentaire pendant et entre les épisodes de crue. Ces mesures ont permis de comprendre et de quantifier l'ajustement de la barre aux travaux et sa dynamique en crue.

Résultats et discussion : les travaux ont permis de recharger le chenal principal avec les sédiments piégés par la végétation depuis son installation entre 2004 et 2005 (10500 m³). L'étude menée sur la remise en mouvement de la barre sédimentaire au cours des crues nous a permis de mettre en évidence sa spécificité de barre forcée qui lui confère une position fixe au sein du lit (associée à la présence d'un seuil rocheux, d'un élargissement du lit et d'une légère inflexion).

Les travaux se sont soldés par :

- i. une remobilisation rapide des sédiments sous la forme de dunes pour des débits relativement faibles (530 m³.s⁻¹). Cette rapide remobilisation confirme les résultats d'autres travaux d'entretien (dévégétalisation/scarification) menés en Loire moyenne (e.g. sites de Givry-Fourchambault, Orléans, Bréhémont). Toutefois, les dunes ne se développent pas dans la partie la plus amont de la barre, caractérisée par des sédiments très mal classés et grossiers. De plus, malgré le mélange des sédiments réalisés pendant les travaux, les faibles intensités de crue survenues ont favorisé la reformation rapide d'armures sédimentaire (particules grossières en surface protégeant le stock sédimentaire sous-jacent et limitant sa remobilisation). Ainsi, les travaux ont été efficaces pour remobiliser les sédiments sableux de la partie aval de la barre mais pas les sédiments hétérométriques dans la partie amont ;
- ii. La barre est composée de deux zones, stable et mobile, qui sont une conséquence d'un jeu complexe entre les facteurs morphologiques de forçage de la barre (seuil, élargissement, faible sinuosité du chenal) et les variations hydrologiques. La barre sédimentaire forcée constitue un stock sédimentaire dont seule une partie est libérée et renouvelée au cours des épisodes de crues de faibles intensités ;
- iii. Les travaux ne permettent pas la remobilisation complète du stock sédimentaire de la barre. En revanche, l'apport sédimentaire provenant du chenal principal n'est plus piégé par la végétation ligneuse pionnière et continue de participer au transport solide dans ce secteur. Il transite sur le dos de la barre, également sous forme de dunes. A partir de la célérité et de la morphologie des dunes, des taux de transports variant de 0,05 kg.s⁻¹.m⁻¹ à 0,23 kg.s⁻¹.m⁻¹ ont été calculés la première année suivant les travaux. Ils sont comparables aux taux de transport calculés dans le chenal principal de la Loire à l'aval de Tours ;
- iv. La seconde année après travaux, les mesures bathymétriques et les chaînes d'érosion attestent du transport de sédiments notamment au sein de la zone mobile, principalement caractérisée par des fractions sableuses, pour des débits ne dépassant pas la crue biennale. Ainsi, l'efficacité des travaux est attestée sur les deux années suivantes, malgré le recrutement de la végétation ligneuse pionnière dès l'année suivant les travaux.

Le fonctionnement hydrosédimentaire de la barre forcée étudiée s'opère selon un modèle à 5 stades (Fig. 11) :

- Stade 1 : phase érosive des dépôts sédimentaires de la barre en début de montée de crue. Les dunes se développent à partir du stock sédimentaire préexistant ;
- Stade 2 : phase d'engraissement associée à l'apport sédimentaire latéral délivré par le chenal principal (morphologie de la barre devient convexe) ;
- Stade 3 : phase de construction. Allongement, étalement latéral à la fin du stade de montée de crue et au début de la décrue ;
- Stade 4 : déclin. Etalement asymétrique et aplanissement de la barre.
- Stade 5 : érosion des marges et du front de la barre lors de la déconnexion. L'extension de la barre, et de ce fait l'espace disponible pour le recrutement de graines, diminue fortement pour ces niveaux.

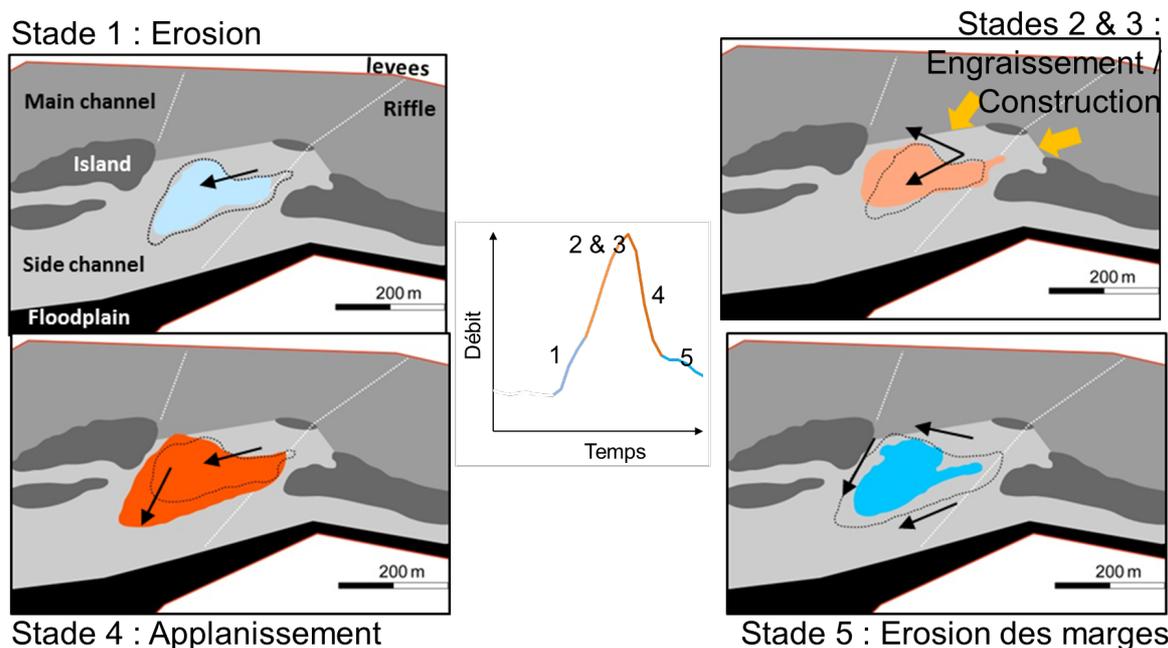


Fig.11 : modèle conceptuel de fonctionnement de la barre sédimentaire pendant les épisodes de crue

Perspectives : il conviendra de coupler ces résultats aux études de développement/survie des communautés végétales. La dynamique de la barre en crue est maintenant bien connue et permettra d'expliquer les raisons de la survie et la distribution spatiale de certaines espèces pionnières qui se développeront après les travaux. Les résultats acquis dans le cadre de la thèse de C. Wintenberger sur les interactions dynamique sédimentaire/végétation ligneuse pionnière laisse supposer une évolution du site proche de celle opérée entre 2004 et 2012. Il conviendra de suivre ce développement qui permettra d'affiner la fréquence d'intervention à retenir pour ce type d'environnement. Pour être pertinente cette étude devra être couplée à la modélisation numérique des successions végétales.

Nos résultats montrent les travaux d'entretien se sont soldés par une remobilisation forte des sédiments pour des débits faibles. Ils ont également permis de comprendre la dynamique d'une barre sédimentaire forcée au cours des crues. Ils constituent le premier retour d'expérience (scientifique) pour des travaux de dévégétalisation / reprofilage en Loire moyenne.

Conclusions et Perspectives / Premier bilan pour les gestionnaires

Voici les principales conclusions d'une étude multidisciplinaire des conséquences de travaux de restauration du lit de la Loire sur la biodiversité. La situation est unique : nous nous trouvons dans une Réserve Naturelle Nationale (celle de St-Mesmin), et les travaux lourds réalisés en septembre 2012 (dévégétalisation, dessouchage, extraction, rejets en Loire de 8000 m³ de sédiments et reprofilage topographique) se sont concentrés sur un unique îlot central au sein d'une mosaïque de quatre îles, d'âges variés.

1. la nouvelle barre sédimentaire est globalement mobile, avec une partie topographique centrale fixe et des marges mobiles. La texture sédimentaire est très complexe, allant de textures armurée (en amont), à sablo graveleuse ou sableuse (en aval). Cette structuration a des conséquences directes sur la répartition et la survie des espèces étudiées.
2. les travaux de restauration ont été efficaces sur la végétation arborescente. En juin 2015, soit 2 ½ an après travaux, la barre sédimentaire centrale (apparue en juin 2013) ne présente qu'une centaine de semis de peuplier noir et de saules, issus de germination de 2013 et 2014, d'une dizaine de cm de hauteur. Quelques très rares pousses végétatives issues de fragments de rameaux ou de racines de Salicaceae ont été observées.
3. la flore herbacée et les insectes coléoptères Carabidae recolonisent progressivement la barre centrale. Deux ans après travaux, 2/3 de la végétation (richesse spécifique) s'est reconstituée. Nous n'avons pas mesuré de façon alarmante la présence d'espèces végétales invasives sur cette nouvelle barre. Après travaux, les Carabidae ne constituent qu'entre 16% et 45% des assemblages initiaux en fonction des habitats présents. Les nouvelles espèces sont cependant typiques de la Loire.
4. les oiseaux des grèves (sternes) ont trouvé un nouvel habitat, avec une présence permanente en période de reproduction. Seule la sterne naine a nidifié, mais sans succès, en 2014.
5. Pour se nourrir, la famille de castor d'Europe (6 individus) s'est adaptée : elle a modifié ses secteurs d'alimentation car sa principale zone de nourrissage se concentrait sur l'îlot qui fut détruit. Elle privilégie dorénavant deux secteurs : un îlot en amont, où la compétition avec l'érable negundo risque de faire disparaître le peuplier noir et la berge sud, plus riche en saule blanc. En deux ans, 12% des arbres du secteur d'étude ont été abattus pour leur alimentation. Cette étude originale, réalisée sur plus de 1500 arbres suivis pendant 3 ans, démontre également clairement que ces travaux de restauration ont des conséquences sur la biodiversité en dehors de la zone des travaux (et pas uniquement sur la zone de travaux).
6. Le régime hydrologique atypique de la Loire en 2013 et 2014 pendant la période de végétation (cf Introduction) mais également par les crues morphogènes d'hiver et de printemps ont joué également un rôle majeur dans ces résultats.

Située sur la Loire, dans une Réserve Naturelle Nationale, le long de la Loire à vélo et dans le secteur de la Loire Patrimoine Mondial Unesco, cette étude est un cas d'école : suivi avant et après travaux, suivi biotique et abiotique (dynamique morphosédimentaire de la nouvelle barre sédimentaire ; dans le cadre de la thèse de C. Wintenberger, soutenue le 2 juin 2015). Scientifiquement parlant, la dynamique de la biodiversité est en route pour que les assemblages de communautés se construisent et que ce nouveau micro-écosystème 'se façonne'. Ce suivi scientifique de deux ans après travaux a apporté des premières informations riches sur les phénomènes complexes en jeu : cela reste cependant un temps court après cet important bouleversement anthropique et des financements sont recherchés pour poursuivre l'aventure scientifique de ce site atelier 'BioMareau'.

Avec la contribution de : S. Augustin, JP. Bakyono, A. Bouvet, JG. Bréheret, M. Chantereau, R. Chevalier, O. Denux, B. Dimouro, A. Dubois, Y. Fillatre, J. Fleury, C. Gaudet, S. Greulich, Y. Guerez, V. Guérin, T. Handfus, D. Hémeray, V. Imbault, V. Jorge, P. Jugé, C. Lédée, A. Marell, S. Marin, H. Martin, J. Martinez, C. Moliard, P. Montes, A. Ndiaye, B. Nusillard, I. Penne-Galland, C. Pernot, C. Poitelon, S. Rodrigues, J.-P. Rossi, J. Saudubray, M. Villar, A. Villemey, C. Wintenberger,

et Emmanuelle Dauffy-Richard qui nous a quitté en route, à l'âge de 38 ans et à qui nous rendons hommage.



Avec nos remerciements pour l'animation par l'Etablissement Public Loire de la plateforme RDI du PLGN et pour les financeurs :



UNION EUROPÉENNE

Ce projet de recherche est cofinancé par l'Union européenne. L'Europe s'engage dans le bassin de la Loire avec le Fonds européen de développement régional.

