

Seuils du Fresne-sur-Loire / Ingrandes

BILAN

du suivi des impacts et de l'efficacité de l'opération



■ Avant-propos

Le programme de relèvement de la ligne d'eau d'étiage, entre les Ponts-de-Cé et Nantes, engagé dans le cadre du Programme Interrégional Loire Grandeur Nature 2000/2006 comprenait :

- 1/ la réalisation de l'opération expérimentale des seuils au Fresne-sur-Loire / Ingrandes,
 - 2/ une opération expérimentale de remodelage des épis en amont de Chalonnes-sur-Loire,
- Cette opération est reportée et inscrite dans le futur Plan Loire 2007/2013.*
- 3/ la mise en place de seuils dans le bassin de marée (sites de Bellevue / Thouaré et Oudon / La Varenne).

Il n'a pas été possible de trouver une configuration de ces seuils qui

satisfasse à la fois transparence migratoire et relèvement significatif de la ligne d'eau dans cette portion du fleuve soumise au marnage. Le futur programme s'attachera à retravailler sur de possibles principes d'interventions.

Ce document présente les suivis réalisés et dresse le bilan de la première et seule opération mise en œuvre sur la période 2000/2006 : les seuils du Fresne-sur-Loire / Ingrandes.

Les suivis ont été animés par le GIP Loire Estuaire à la demande des Voies Navigables de France, maître d'ouvrage du programme entre les Ponts-de-Cé et Nantes.

■ Les suivis de l'opération des seuils : protocole et moyens mis en œuvre

Les suivis initiés en 2000 ont été mis en œuvre en 2001. Initialement prévus pour 3 ans, ils se sont achevés en 2004. Compte tenu de leur intérêt, du retard dans les travaux et de l'évolution du site, il a été décidé de les prolonger dans une version dite « allégée » jusqu'à la fin de l'année 2006.

La démarche a été encadrée par :

- **un comité technique de suivi**, réuni régulièrement à la mairie du Fresne-sur-Loire pour examen et validation des résultats. Animé par la Direction Régionale de l'Environnement des Pays de la Loire, il se compose de représentants d'associations, usagers, élus, Etat, universitaires ;
- **un comité consultatif local** réuni à Ancenis sous la présidence de Monsieur le sous-préfet.

Le rôle du GIP Loire Estuaire a été de :

- mettre en application les suivis après validation des protocoles ;
- coordonner les prestations des scientifiques sur les thèmes spécialisés ;
- rassembler les données acquises par le maître d'ouvrage VNF ou les partenaires associés ;
- travailler les données, les valider, construire les synthèses, les rendre accessibles ;
- présenter les résultats aux comités idoines.

Chaque année, un CD-Rom rassemblant les données et les analyses mises à jour a été édité ainsi que différentes plaquettes de présentation. Depuis janvier 2007, les données des suivis sont en ligne sur le site Internet du GIP Loire Estuaire à l'adresse suivante : www.loire-estuaire.org.



Les thèmes du suivi

Pour évaluer et suivre les impacts de cet aménagement, un protocole a été constitué puis mis en œuvre. La liste des thèmes étudiés est la suivante :

THEME 1 - PROCESSUS HYDRODYNAMIQUES

- 1-1 : Lignes d'eau dans le cadre général de la Loire
- 1-2 : Lignes d'eau en continu
- 1-3 : Lignes d'eau au regard de l'ouvrage
- 1-4 : Perte de charge occasionnée par l'ouvrage
- 1-5 : Répartition des écoulements
- 1-6 : Niveaux de la nappe
- 1-7 : Connectivité de la boire de Champtocé

THEME 2 - PROCESSUS HYDROSÉDIMENTAIRES

- 2-1 : Évolution des fonds
- 2-2 : Granulométrie
- 2-3 : Charriage et suspension



THEME 3 - PATRIMOINE NATUREL : FLORE ET VÉGÉTATION

- 3-1 : État général de la végétation
- 3-2 : Cicatrisation du chantier
- 3-3 : Habitats de reproduction piscicole

THEME 4 - PATRIMOINE NATUREL : FAUNE ET PEUPEMENTS

- 4-1 : Fonctionnement qualitatif des boires
- 4-2 : Flux migratoires de poissons
- 4-3 : Peuplement d'invertébrés benthiques
- 4-4 : Oiseaux nicheurs



THEME 5 - QUALITÉ DES EAUX

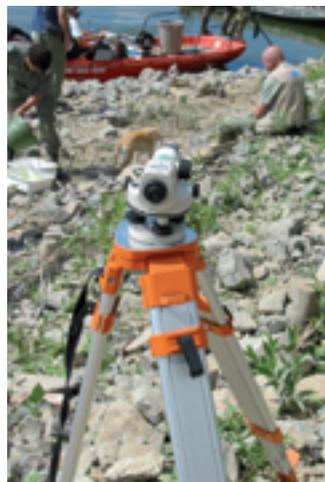
THEME 6 - PAYSAGE

Les résultats présentés ci-après ne constituent qu'un extrait des suivis.

Le projet de protocole devait :

- s'élargir et couvrir toutes les composantes du milieu, susceptibles d'être touchées par l'opération expérimentale ;
- construire très précisément les indicateurs mesurant et évaluant l'efficacité ou non de l'opération.

Ainsi, 17 indicateurs représentatifs, regroupés dans les 6 grands thèmes, ont été précisés.

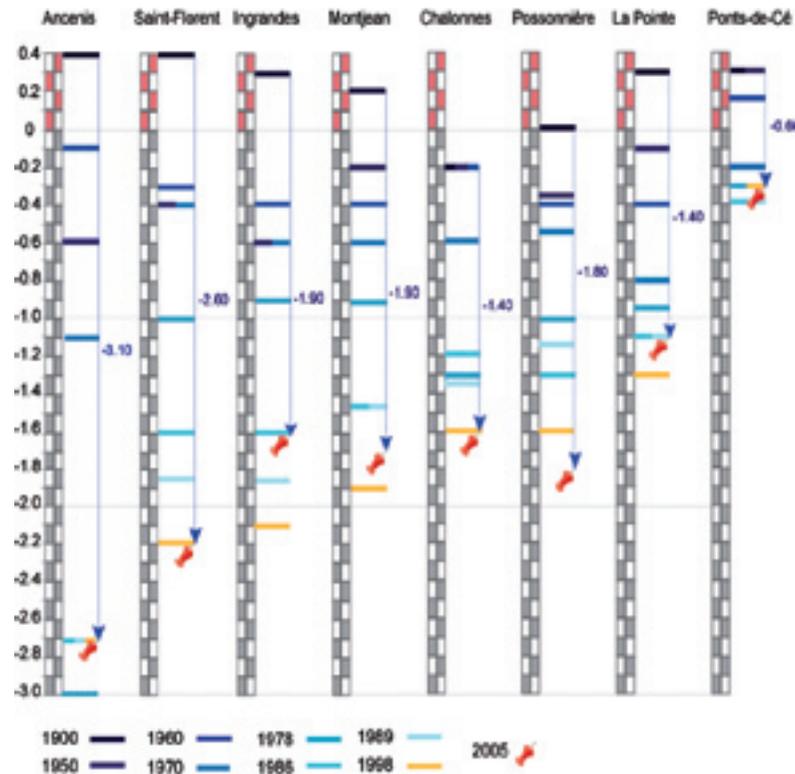


Rappel : constat et conséquences de l'abaissement des niveaux d'eau à l'étiage en Loire fluviale

Les aménagements conduits dans le lit de la Loire pour la protection contre les crues (levées), pour la navigation (épis pour la chenalisation), mais également les extractions massives de sable ont engendré une incision du chenal avec pour conséquence directe, l'abaissement du niveau d'eau.

Sur un siècle, le niveau d'eau à l'étiage, mesuré aux échelles, s'est abaissé de 1 à 3 m entre les Ponts-de-Cé et Ancenis ; 2,40 m à Ingrandes.

Niveau d'eau d'étiage (117 m³/s) à chaque échelle entre Ancenis et les Ponts-de-Cé, de 1900 à 2005

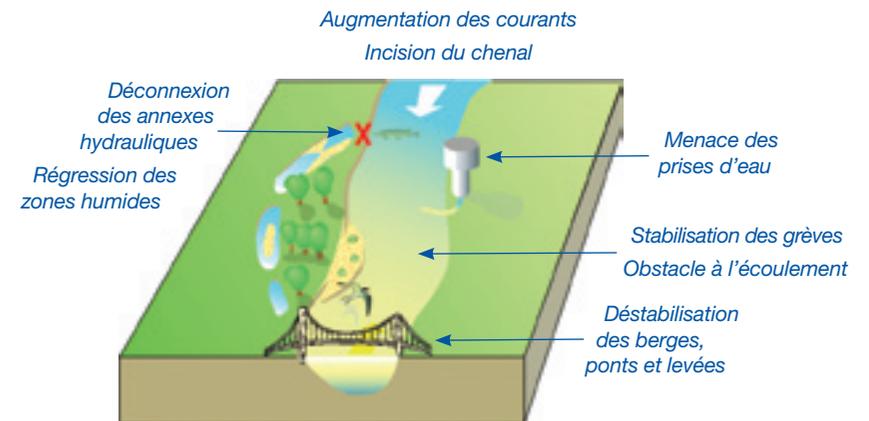


Sources : SAR, SIM/ODE44, GIP Loire Estuaire

Les conséquences de cet abaissement sont nombreuses, l'eau empruntant en période d'étiage, un chenal unique, étroit et profond :

- **disparition ou mauvais fonctionnement des zones humides** en connexion avec la Loire : les bras morts ou boires et les marais sont plus longuement asséchés au cours de l'année. Ces milieux ne peuvent donc plus assurer de manière efficace leurs diverses fonctions : reproduction pour le brochet, pour les amphibiens, repos pour les oiseaux par exemple ;
- **augmentation du risque d'inondation** par stabilisation et végétalisation des bras secondaires et des grèves, constituant des obstacles à l'écoulement ;
- **menace pour les prises d'eau** : déplacement de points de prélèvements, rabattement de la nappe alluviale de la Loire ;
- **déstabilisation des berges, ponts, levées** par augmentation des courants.

Conséquences des aménagements



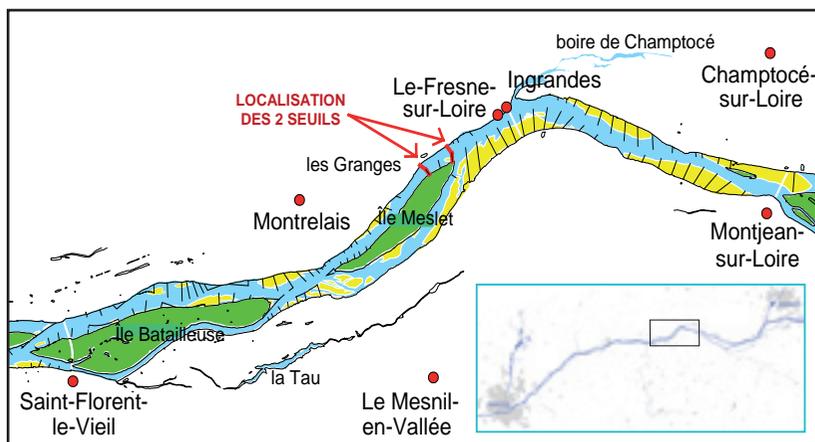
Objectifs des seuils et suivis des impacts

Le site d'intervention se situe sur la commune du Fresne-sur-Loire (Loire-Atlantique). Dans ce secteur, le niveau d'eau à l'étiage s'est abaissé de près de 2,40 m en un siècle. L'objectif de l'opération est de :

- relever ce niveau de 0,50 m ;
- réalimenter les annexes hydrauliques : bras secondaire de Cul-de-Bœuf et boire de Champtocé ;
- favoriser le processus de « remous sédimentaires » pour remonter le fond du lit en amont de l'ouvrage.

Le principe consiste à :

- remobiliser les matériaux du bras secondaire ;
- favoriser la sédimentation dans le bras navigable en limitant le débit et la pente de l'écoulement dans ce dernier.

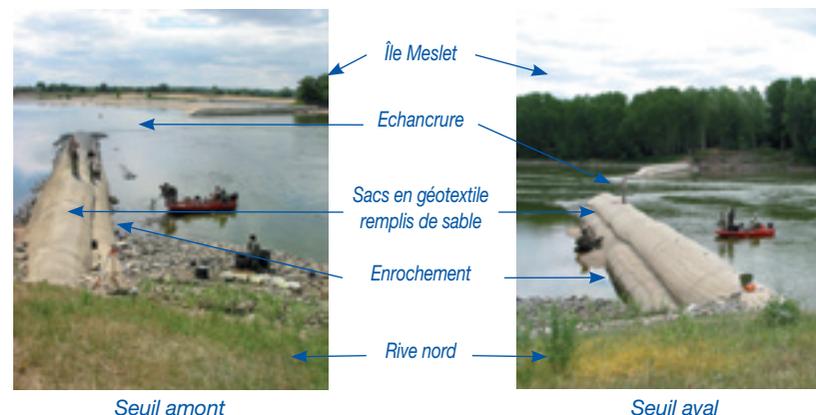


Pour atteindre ces objectifs, 2 ouvrages ont été réalisés dans le bras navigable : le plus amont, au droit de la tête de l'île Meslet et le suivant, 400 m à l'aval. Il s'agit de 2 seuils à échancrure constitués d'une semelle en enrochement sur laquelle se superposent des sacs en géotextile remplis de sable.

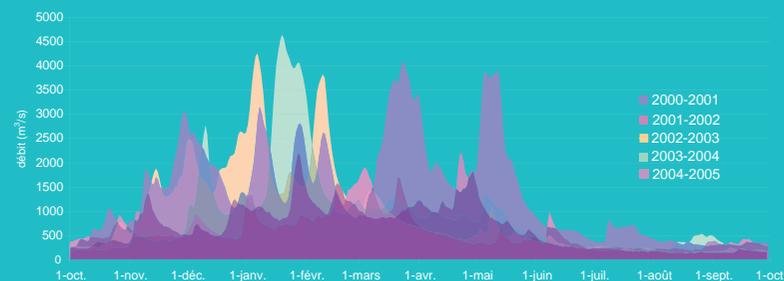
La configuration des structures permet :

- le passage de l'eau, des poissons et des bateaux (grâce à l'échancrure) ;
 - leur réversibilité (grâce aux sacs en géotextile facilement « démontables »).
- Les travaux se sont déroulés lors des périodes d'étiage : étés 2002 et 2003.

Les 2 seuils placés dans le bras navigable, visibles à l'étiage (2004)



Des années hydrologiques qui se suivent mais ne se ressemblent pas



Les débits, mesurés à la station de Montjean-sur-Loire, varient de plus de 6000 m³/s (périodes de hautes eaux ou crues) à moins de 100 m³/s (périodes de basses eaux ou étiages). En moyenne, le débit de la Loire est de 850 m³/s.

L'état initial des suivis a été constitué principalement en 2001, année la plus pluvieuse de la chronique, au cours de laquelle se sont succédés 5 pics de crue à plus de 2500 m³/s. Les années qui ont suivi n'ont jamais connu de tels phénomènes hydrologiques, et même à l'inverse ont subi de longues et sévères périodes de sécheresse.

Les critères d'efficacité sur l'hydraulique

Il est évident que l'évaluation de l'efficacité des seuils, année après année, dépend dans une large mesure du régime hydrologique de la Loire.

Des critères d'efficacité ont été assignés à l'opération et hiérarchisés avec les effets attendus d'une part et la réussite optimum d'autre part.

Les effets attendus se caractérisent, de manière chronologique, par :

- un effet purement hydraulique en amont immédiat de l'île Meslet engendrant le relèvement des niveaux d'eau de l'ordre de 0,50 m entre 300 et 1000 m³/s, qui diminue vers l'amont et pour des débits supérieurs à 1000 m³/s,
- l'accroissement du débit et de la pente dans le bras sud provoquant :
 - en amont de l'île Meslet : dépôt de sable inférieur à 0,50 m,
 - dans le bras sud : abaissement des fonds,
 - en aval de l'île Meslet : faible variation des fonds,
- la reprise de transit du sable produisant :
 - diminution de la vitesse d'enfoncement dans le bras sud,
 - dépôt dans le bras nord,
- la redistribution des débits du fleuve au profit du bras sud.

Ce dernier point correspond au stade final de l'opération. Il dépend de l'intensité du creusement du bras sud, lié au régime hydrologique de la Loire.

Sous réserve de la stabilité des fonds à Saint-Florent-le-Vieil, il est possible de caractériser la réussite optimum par :

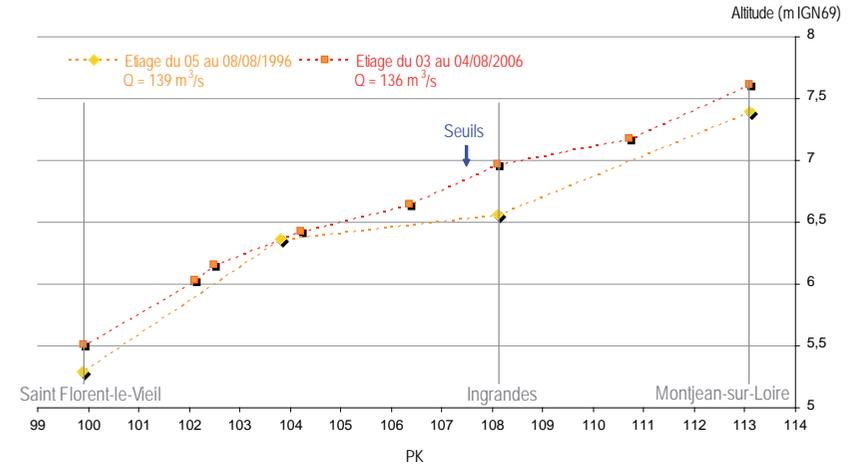
- en aval de l'île Meslet : absence d'abaissement des fonds et des étiages, ou léger relèvement ;
- en amont de l'île Meslet : relèvement de 0,50 m environ de la ligne d'eau d'étiage ;
- à Montjean-sur-Loire : relèvement des fonds moyens du fleuve de 0,30 m ;
- dans le bras sud : abaissement des fonds de 1 m ;
- dans le bras nord : exhaussement des fonds de 1 m, seulement si la répartition des sédiments dans les 2 bras est proportionnelle à la répartition des débits liquides.



Critère d'efficacité/objectif : relèvement du niveau d'eau d'étiage de 0,50 m

Sources des données : DIREN Centre / Service Maritime et de Navigation-DDE44

Lignes d'eau d'étiage de 1996 et 2006, entre Montjean-sur-Loire et Saint-Florent-le-Vieil



Le suivi des lignes d'eau, avant et après travaux, met en évidence le relèvement du niveau de l'eau de 0,50 m à l'amont immédiat des seuils, effet qui se fait sentir au-delà de Montjean-sur-Loire, 5 km à l'amont, pour un débit d'étiage de l'ordre de 140 m³/s.



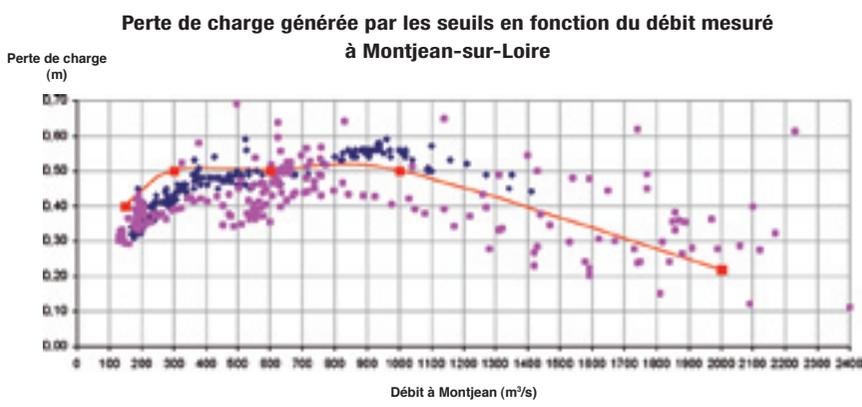
← 4,71 m
le 24 mars 2001

← 4,67 m
le 30 janvier 2004

En période de crue, pour un débit égal à 4100 m³/s, les seuils n'ont aucun effet (la hauteur d'eau mesurée à l'échelle d'Ingrandes avant et après travaux, n'a pratiquement pas varié).

Critère d'efficacité / objectif : perte de charge ou dénivelée (différence d'altitude de l'eau entre l'amont et l'aval des seuils) de l'ordre de 0,50 m pour un débit compris entre 300 et 1000 m³/s, et environ 0,22 m à 2000 m³/s

Sources des données : Service Maritime et de Navigation-DDE44



En bleu figurent les données de 2004, en rose, celles de 2006, en rouge, les valeurs objectives.

La perte de charge varie entre 0,30 et 0,60 m pour des débits compris entre l'étiage et 1000 m³/s, conforme aux résultats attendus. Au-delà de ces débits, la dispersion des points en 2006 permet difficilement de conclure ; toutefois, l'ordre de grandeur est globalement respecté.

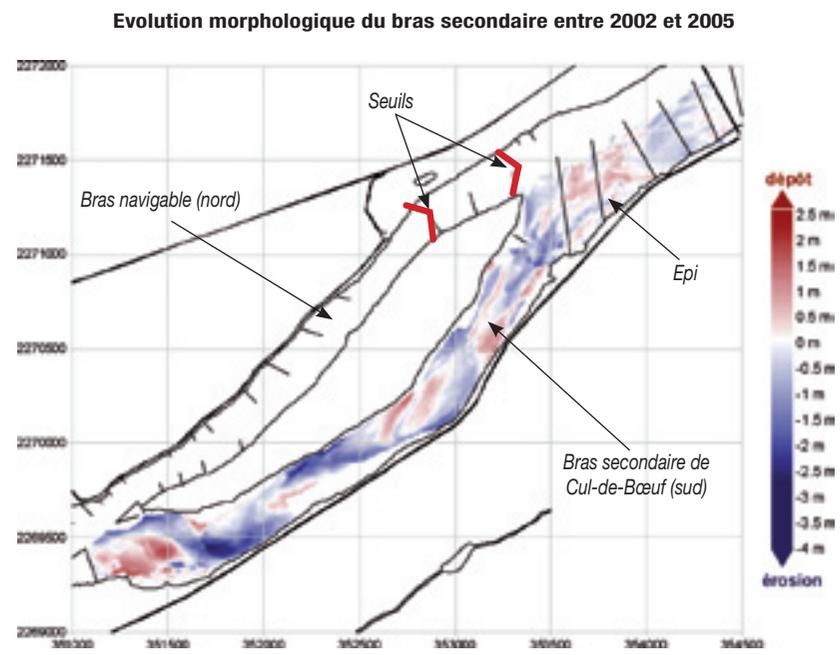
Critère d'efficacité / objectif : érosion du bras de Cul-de-Bœuf et répartition des écoulements

Sources des données : Service Maritime et de Navigation-DDE44 / DIREN Pays de la Loire / Agence de l'Eau Loire-Bretagne

Le mouvement des sédiments dans le bras sud est tributaire du débit du fleuve, donc aléatoire. Il s'observe pour un débit voisin de 1000 m³/s. La comparaison des topographies 2002 (avant travaux) et 2005 (2 ans après travaux) du bras secondaire conclut à un départ de sable compris entre 210 000 et 230 000 m³. Cette érosion équivaut à un décapage moyen du bras de l'ordre de 0,35 à 0,40 m sur toute la superficie

figurant sur la carte : les dépôts atteignent 2,50 m par endroits et les érosions, jusqu'à 4 m.

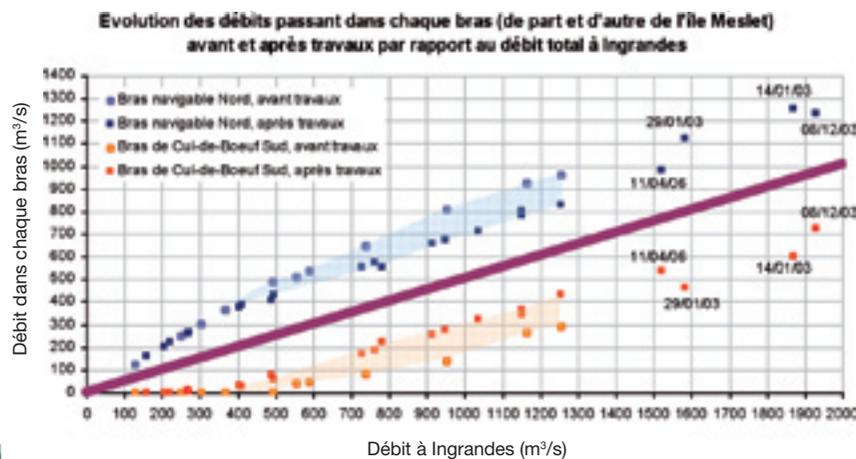
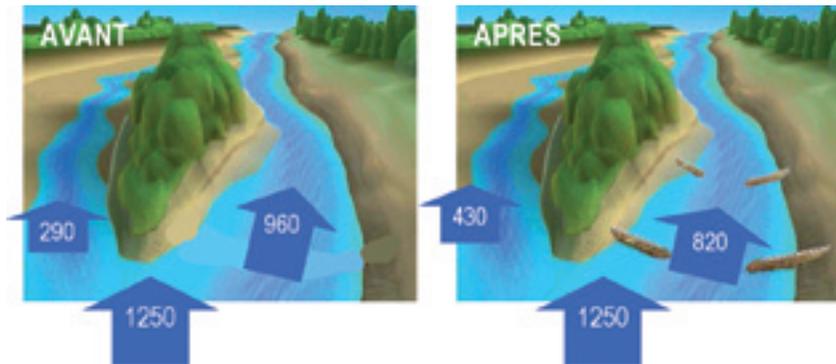
Ces résultats sont à comparer aux objectifs assignés à l'opération qui prévoient une érosion optimum de 1 m, non atteinte, car dépendante de l'hydrologie du fleuve. La succession de plusieurs années sèches (étiages longs et sévères) n'a pas favorisé l'érosion du bras sud.



Cependant, cette érosion, accompagnée du relèvement du niveau d'eau en amont des seuils, augmentent les fréquences et durées de mise en eau du bras secondaire, qui passent en moyenne sur la dernière décennie, de 180 à 240 jours par an, soit un gain équivalent à 2 mois supplémentaires de mise en eau.

Alors que le bras sud est en eau aux environs de 550 m³/s en 1998, il l'est désormais à partir de 350 m³/s. Cette nouvelle redistribution des écoulements est effective même au-delà de 1000 m³/s. Cependant, le bras nord reste toujours dominant.





A l'aval de l'île Meslet (de part et d'autre de l'île Batailleuse) la répartition des écoulements n'est pas modifiée, laissant supposer une relative stabilité des fonds dans ce secteur, comme attendu.

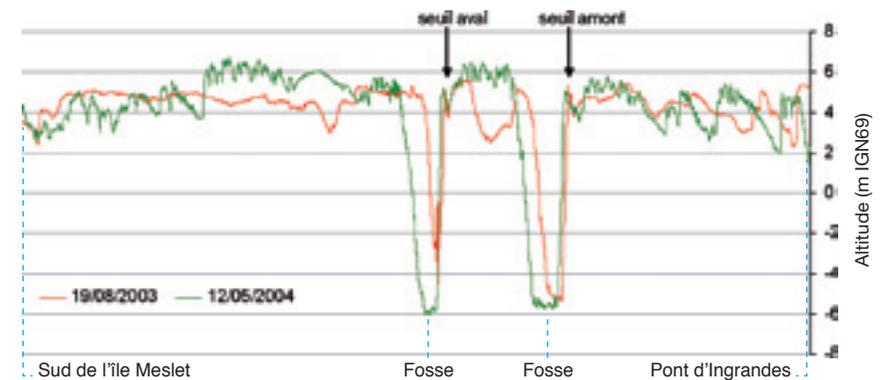
Les érosions

Sources des données : Service Maritime et de Navigation-DDE44

Deux types d'érosions sont constatés au cours des suivis :

- la formation d'une fosse d'affouillement en aval de chaque ouvrage, dans l'axe du chenal ;
- la dégradation des ancrages en berge par l'effet des courants (entre 300 et 1000 m³/s) et par débordement (au-delà de 2000 m³/s).

Profil en long du lit de la Loire dans l'axe du chenal en 2003 et 2004



Les fosses sont mises en évidence dès 2003 puis suivies en 2004 et 2006. Leur profondeur maximale est d'environ 10 m et évolue au gré des débits (alternance de reprises et de dépôts). Leur largeur, après avoir cru entre 2003 et 2004, est stabilisée en 2006.

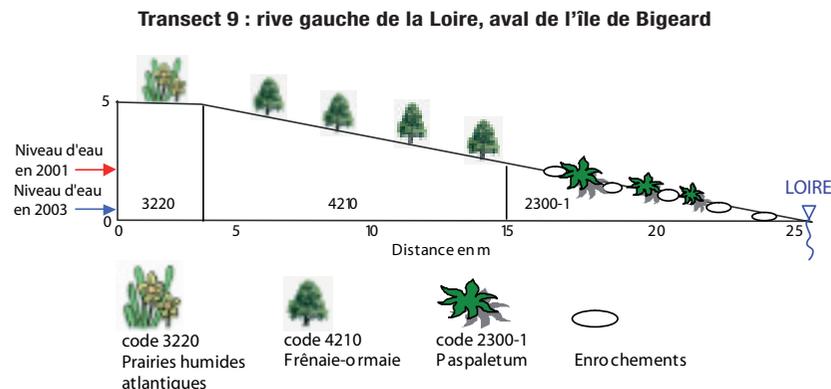
L'érosion des berges est observée en 2004 principalement sur les rives de l'île Meslet, à l'aval immédiat des zones d'ancrage des seuils. Des travaux sont engagés par le maître d'ouvrage dès la fin de l'année pour conforter la rive et l'ancrage à l'aide de pieux battus et d'enrochements. Depuis, aucune crue n'est venue déstabiliser le confortement réalisé.

Les impacts sur le milieu vivant

La végétation, les macroinvertébrés benthiques (insectes, mollusques, crustacés, vers qui vivent sur le fond), les oiseaux et les poissons ont fait l'objet de suivis. L'état initial de 2001 a contribué à renouveler, compléter ou initier les connaissances sur les milieux et les espèces du secteur de Loire compris entre Montjean-sur-Loire et Saint-Florent-le-Vieil.

La végétation

Pour le suivi général de la végétation, 18 profils en travers ont été relevés entre 2001 et 2004 par le Centre d'Etude et de Recherche sur les Ecosystèmes Aquatiques d'Angers. Les zones inondées et donc inaccessibles en 2001 ont pu être prospectées les années suivantes avec l'apparition et le développement en 2002 et 2003 de végétations pionnières des grèves (*Bidention*, *Paspaleum*, *Chenopodium*).



L'ensemble des communautés végétales caractéristiques des bords de Loire est bien représenté dans ce secteur mais avec des développements très variables du couvert végétal. La diversité des groupements végétaux est souvent due aux boisements de rives et non à la végétation plus particulière des grèves.

Dans la boire de Champtocé, le suivi s'intéresse plus particulièrement aux habitats pour la reproduction des poissons (le brochet notamment). Cependant, l'hydrologie « défavorable » à une mise en eau optimale de la boire n'a pas permis, sur les 3 années de suivi, de mettre en évidence une modification significative des groupements végétaux, à l'exception de la prolifération d'une espèce invasive, la jussie (*Ludwigia peploides*).

Les oiseaux nicheurs

Sur le secteur, 3 points d'écoute sur les 19 étudiés bénéficient d'un suivi tous les 5 ans depuis 1990, réalisé par le Laboratoire d'Evolution des Systèmes Naturels et Modifiés de l'université de Rennes. Ils mettent en évidence une relative stabilité de l'avifaune.

Près de 80 espèces d'oiseaux ont été observées sur le site entre Montjean-sur-Loire et Saint-Florent-le-Vieil dont plus de la moitié est protégée au niveau national.

Cinq espèces reproductrices sur le site sont reconnues d'importance européenne (œdicnème criard, faucon hobereau, râle des genêts, sterne naine, sterne pierregarin).



Le suivi a porté sur l'ensemble de l'avifaune, mais trois espèces ont été identifiées comme indicatrices des conditions de submersibilité : les deux espèces de Sternes et le Petit Gravelot.

Les niveaux d'eau constituent le facteur essentiel de la richesse qualitative et quantitative des oiseaux nicheurs et de leur répartition en amont ou en aval du pont d'Ingrandes. Avec un niveau d'eau moyen comme en 2002 et 2003, les oiseaux tendent à se cantonner en amont du pont d'Ingrandes alors qu'ils occupent préférentiellement la bordure de l'île Meslet du bras secondaire de Cul-de-Bœuf, lors des niveaux d'eau élevés de 2001. Les conditions hydrologiques de cette année de référence ne s'étant pas reproduites dans le temps, il est difficile de conclure sur l'impact direct des seuils sur l'avifaune.



œdicnème criard



Faucon hobereau



Râle des genêts



Sterne naine



Sterne pierregarin

Les poissons et le franchissement piscicole

Le suivi piscicole comporte 2 volets : le fonctionnement qualitatif de la boire de Champtocé et la transparence migratoire de part et d'autre des seuils.



L'inventaire piscicole dans la boire de Champtocé s'est déroulé en 2001, 2002 et 2004 sur 6 stations dans des conditions hydrologiques très différentes. Les pêches électriques réalisées par le Conseil Supérieur de la Pêche ont pu s'effectuer à pied ou en bateau et ont inventorié **21 espèces de poissons**.

Sur les années du suivi, l'impact des seuils est positif sur le fonctionnement hydraulique et piscicole de la boire, mais en grande partie masqué par les effets de l'hydrologie (année 2001 de référence très humide) :

- la connectivité aval de la boire de Champtocé est rétablie même si ce n'est pas le problème principal du site ;
- l'inondabilité, principal facteur limitant, est améliorée avec un gain de surface fonctionnelle de frai.

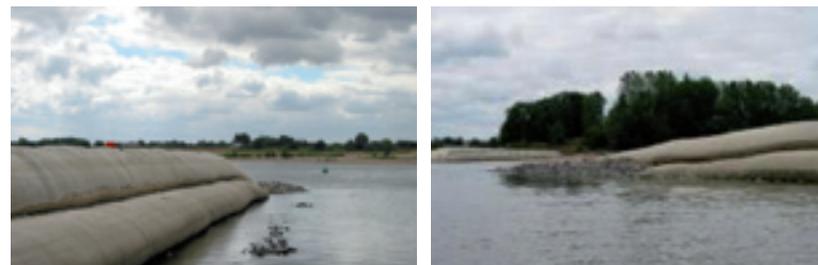
Ces éléments sont complétés par le gain de surface fonctionnelle dans le bras secondaire du Cul-de-Bœuf (habitats juvéniles, nurseries) remis en eau plus fréquemment et durablement dans l'année.

Le suivi par pêche électrique à l'amont et à l'aval de chaque ouvrage, a mis en évidence que **les seuils ne constituent pas d'obstacle à la migration des poissons : la transparence migratoire est respectée**. Ce constat est corroboré par le suivi des captures des pêches professionnelles du lot n°L7.



Le paysage

Les seuils sont très visibles dans le paysage en périodes de basses eaux ; les structures ni minérales ni végétales (sacs en géotextile remplis de sable) qui forment la partie haute, artificialisent fortement le site.



La végétalisation attendue n'est pas apparue au cours des années du suivi ; phénomène à mettre en relation avec les longues périodes d'exondation des structures. Il paraît vraisemblable que, dans ces conditions, les végétaux coloniseront difficilement le géotextile. Par ailleurs, la présence de l'eau est plus marquée dans le paysage, particulièrement dans le bras de Cul-de-Bœuf, au détriment du sable.

La Loire en aval du bras de Cul-de-Bœuf pour un débit de 425 m³/s



2001



2004

■ Conclusion et perspectives

Les suivis de cette opération expérimentale sont riches et porteurs d'enseignements pour la mise en place de futures actions visant à relever la ligne d'eau.

Les suivis ont contribué à une meilleure connaissance du fonctionnement de la Loire malgré une insuffisance sur le thème essentiel du transport sédimentaire. Il conviendra de combler cette lacune dans le cadre du futur Plan Loire 2007/2013.

Les objectifs assignés aux seuils sont globalement atteints. Les écarts constatés par rapport à l'évaluation de l'impact des seuils sont quantitatifs. Ils résultent de l'hydrologie de la Loire, peu favorable à des remaniements importants : par exemple, l'érosion du bras de Cul-de-Bœuf est de 0,35 à 0,40 m au lieu du 1 m optimum.

Les suivis ont également mis en évidence l'étroite relation qu'il existe entre l'hydrologie et le milieu vivant. En effet, qu'il s'agisse des poissons, des oiseaux ou de la végétation, ils répondent davantage aux

contrastes hydrologiques qu'à l'aménagement lui-même. Les résultats sont de fait difficilement interprétables, surtout pour la végétation dont le temps de réponse est plus long.

Il faut souligner la mobilisation et l'investissement exceptionnels des acteurs : acquisition de données, validation des analyses, proposition d'adaptation des protocoles... Cette mobilisation a été soutenue par l'animation nécessaire à la bonne exécution des suivis : programmation et déclenchement des campagnes de mesures, récupération, mise en cohérence, analyse et diffusion de toutes les données et synthèses.

En conclusion, les seuils ont rempli leur mission d'un point de vue hydraulique. **Le relèvement du niveau d'eau d'étiage dans ce secteur de Loire est effectif et significatif.** Cependant, cet aménagement fait l'objet de nombreuses critiques et controverses principalement liées à son aspect et à la gêne qu'il constitue pour la navigation de plaisance, en période estivale.





Rédaction : GIP Loire Estuaire – Réalisation : Caféine – Crédits photos : Montévidéo,
GIP Loire Estuaire – Illustrations oiseaux : LPO – Tirages : 500 exemplaires

Données et expertises : SMN-DDE44 / DIREN Pays de la Loire / DIREN Centre
Conseil Supérieur de la Pêche-ONEMA / CERA - Université Catholique de l'Ouest / LESNM - Université de Rennes
RIVE SARL / Equipe Pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature / Agence de l'Eau Loire Bretagne / INPG Entreprise - P. Lefort
JR Malavoi - Ingénieur Conseil / Y. Perraud - Pêcheur professionnel