

Restauration de la Loire entre Nantes et les Ponts-de-Cé

Redéfinition d'un cadre d'objectifs et d'interventions
par l'analyse fonctionnelle et de la valeur
au sein d'un groupe de travail acteurs-usagers

Rapport de synthèse

JUIN 2009

Programme de restauration de la Loire entre Nantes et les Ponts-de-Cé - Années 2008 et 2009

ANNE REFABERT

ANALYSE DE LA VALEUR

REVUE DE PROJETS

GIP Loire Estuaire

**Redéfinition d'un cadre d'objectifs et d'interventions pour la
restauration de la Loire entre Nantes et les Ponts-de-Cé**
par l'Analyse fonctionnelle et de la valeur

Rapport de synthèse

Juin 2009

SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
1 - RECUEIL D'INFORMATIONS	7
1 – 1 L'érosion régressive	7
1 – 2 Evolution des lignes d'eau	7
1 – 3 Bilan de l'expérimentation des seuils du Fresne	8
2 - ANALYSES ET FONCTIONS A ASSURER	10
2 – 1 La restauration des fonctions écologiques	11
2 – 2 La navigabilité	17
2 – 3 Schéma récapitulatif des enjeux sur le bief	21
2 – 4 Cahier des Charges Fonctionnelles	22
3 - PRINCIPES DE SOLUTION	28
3 – 1 La restauration du lit mineur	29
3 – 2 La restauration interne des annexes et de leurs connexions	32
3 – 3 Solutions d'exploitation / réglementaires / foncières / information	33
SUITES A DONNER	34
ANNEXE	

Introduction

La présente étude porte sur le **bief de la Loire entre Angers et Nantes** d'une longueur 88 km.

Les aménagements réalisés depuis 1900 et dans les années 70, ont eu pour conséquences : l'incision du lit, un fort abaissement de la ligne d'eau (symptôme le plus visible), la déconnexion d'annexes hydrauliques, l'altération de leur fonctionnement écologique et une fragilisation des rives.

L'objectif aujourd'hui, est de **restaurer ce bief**.

Dans le but de relever la ligne d'eau d'étiage du fleuve, un programme avait été mis en place en 2000, dans le cadre du Plan Loire 2000-2006, avec :

- la construction de seuils sur 6 sites, seuils expérimentaux au Fresne ,
- le raccourcissement et l'abaissement des épis, avec une opération expérimentale sur le secteur la Pointe – La Possonnière, portant sur 102 épis.

Ce programme a été revu à la baisse et, à ce jour, seuls les 2 seuils expérimentaux du Fresne ont été construits, les autres seuils ayant été abandonné pour des raisons de franchissabilité piscicole. L'opération expérimentale de raccourcissement et l'abaissement des épis est quant à elle programmée à l'étiage 2009.

Face aux difficultés rencontrées lors du Plan Loire 2000-2006, les acteurs de ce territoire ont souhaité que soit redéfini un cadre d'objectifs et d'interventions pour la restauration de la Loire entre Nantes et les Ponts-de-Cé.

Le but général est de **trouver un fonctionnement plus satisfaisant** pour le bief et de **satisfaire au mieux aux fonctions et / ou usages** :

- **Fonctions écologiques.** Certains milieux dépérissent, et leurs fonctions biologiques sont amoindries. Il s'agit de trouver un autre équilibre.
- **La continuité transversale** : le lit majeur avec ses boires et ses bras secondaires échangent de façon insuffisante avec le lit mineur.
- **La navigation.** Les principaux usagers sont des plaisanciers et des pêcheurs, auxquels s'ajoutent un transporteur de sable et quelques bateaux à passagers.
- **L'évacuation des crues.** Les bras secondaires, en se comblant et en se végétalisant, jouent moins leur rôle lors des crues.
- **L'attrait paysager du lit et des rives,** pour la promenade et la plaisance notamment.

L'objectif de l'étude est de :

- **Définir des actions de restauration du bief, en partant des fonctions à assurer et de leur quantification**, pour ensuite proposer au fleuve un autre fonctionnement hydro-sédimentaire.

Il ne s'agit pas seulement de remonter la ligne d'eau et de favoriser les dépôts de sable, mais aussi de répondre aux questions suivantes :

- o **Quelles fonctions sont à restaurer, associées à quels milieux ? Quelles sont les conditions hydrauliques nécessaires ?**
- o quelles sont les fonctions qui risquent d'être pénalisées par les actions envisagées ?
- o **la restauration peut-elle être progressive**, sur 20 ou 50 ans, ou y a-t-il urgence pour certaines fonctions ?
- o **qu'est-ce qui est faisable ? et à quel coût ?**

Le GIP a donc lancé deux actions :

- la présente étude conduite par l'Analyse de la Valeur
- une mission d'expertise sur l'évolution des lignes d'eau, et le fonctionnement actuel hydro-sédimentaire. Cette mission s'est déroulée en parallèle de notre travail. Les 2 missions ont convergé à l'occasion de la 6^{ème} séance de travail.

L'Analyse de la Valeur avait pour mission de favoriser un dialogue constructif, en apportant un cadre méthodologique et une technique d'animation de groupe.

Principes de la méthode :

- travailler en équipe avec tous les points de vue concernés par le sujet
- préciser les objectifs visés
- recueillir toute l'information nécessaire pour bien documenter le sujet et objectiver les débats
- reformuler le besoin en termes de fonctions à assurer
- travailler dans la conscience des coûts, et se laisser guider par les enjeux
- faire de la créativité par fonction, en séparant les problématiques

L'étude s'est articulée autour de 6 séances de travail en équipe d'une demi-journée chacune qui se sont déroulées entre novembre 2008 et mai 2009.

L'équipe

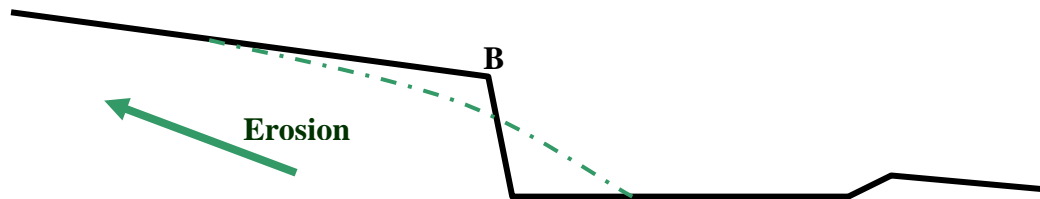
Fabien	DORTEL	Ligue pour la Protection des Oiseaux 44 Loire Atlantique (LPO 44)
Christophe	DOUGE	Association Loire Vivante Estuaire
Joël	GASTINEAU	Mairie de Mauves sur Loire
Yannick	GUILLEMOT	Association Nationale des Plaisanciers en Eaux Intérieures
Yves	BORBEAU	Association Nationale des Plaisanciers en Eaux Intérieures (suppléant)
Denis	LAFAGE	CORELA
Régis	LE QUILLEC	DDE / VNF
Roland	MATRAT	DIREN
Yves	MENANTEAU	Association Comité pour la Loire de Demain
Vincent	MOUREN	Fédération de Pêche de Loire Atlantique
Yann	NICOLAS	Fédération de Pêche du Maine et Loire
Yannick	PERRAUD	Représentant des pêcheurs professionnels
Pierre	STEINBACH	ONEMA
Jacques	ZEIMERT	Association Sauvegarde Loire Angevine
Jean-Paul	GISLARD	Assoc. Sauvegarde Loire Angevine (suppléant)
Bernard	PRUD'HOMME	GIP Loire Estuaire
Pierre	BONA	GIP Loire Estuaire

Le groupe de travail a été conduit et animé par Anne REFABERT, consultant en Analyse de la Valeur, spécialisée dans les projets d'équipement et d'infrastructures

1 - Recueil d'informations

1 – 1 L'érosion régressive

Globalement, le fleuve cherche en permanence un équilibre entre les apports en sédiments venant de l'amont, et l'énergie dont il dispose pour transporter des matériaux (capacité de transport solide). Cet équilibre dépend fortement de la taille des sédiments, des débits d'eau, de la pente du fond,....



Quand le fond du fleuve est abaissé artificiellement (comme celui du bassin de marée), le fleuve tend à retrouver une pente continue et uniforme. Au point B, le déséquilibre entre apport et capacité de transport est maximum, **et en l'absence de point dur, le fond continue à s'éroder. Progressivement, l'érosion a tendance à remonter vers l'amont, et le lit continue à se creuser dans le bief.**

Les analyses hydro-morphologiques de M. Lefort, à qui le GIP Loire Estuaire a confié une expertise hydrosédimentaire sur la Loire, entre Nantes et les Ponts-de-Cé, confirment une tendance à l'érosion sur l'ensemble du bief (y compris dans une partie du bassin de marée), suite à la suppression des seuils naturels (notamment celui de Bellevue), l'extraction massive de sable dans le lit et à la construction des épis (responsable d'un surcreusement de 10 à 40 cm) – voir résumé de l'étude en annexe.

Il existait des points durs naturels, parmi lesquels le seuil de Bellevue, mais on les a supprimés ou contournés.

Faut-il les rétablir ?

1 – 2 Evolution des lignes d'eau

La lecture des graphes de relevé de données sur les hauteurs d'eau, est riche en enseignement. Ces données ont été relevées à un débit donné sur plusieurs années, et ceci en différents points du fleuve.

Depuis 1996, en étiage, sur la majorité des points de mesure, un abaissement du niveau d'eau est constaté. Par ailleurs, l'évènement majeur de la crue de 2001 a provoqué un abaissement des lignes d'eau de 20 cm environ. Après la crue, soit les niveaux ont retrouvé leur cote antérieure, soit les niveaux sont restés bas. **La crue a creusé le lit là où la tendance était globalement à l'approfondissement.** Elle n'a eu qu'un impact limité dans le temps là où la tendance est à l'engraissement.

- à la Pointe , maintien des niveaux
- à la Possonnière, **abaissement des lignes d'eau**
- à Montjean, remontée des lignes d'eau (effet des seuils qui sont à 5 km à l'aval)
- à Ingrandes, juste à l'amont des ouvrages : +50 cm (effet des seuils)
- à St-Florent, **abaissement des lignes d'eau**

Dans certains secteurs, notamment à la Possonnière et dans la partie ouest du bief, en amont du bassin de marée, le lit continue à s'inciser, avec un abaissement des lignes d'eau de l'ordre de 20 cm en 10 ans

1 – 3 Bilan de l'expérimentation des seuils du Fresne

Deux ouvrages expérimentaux ont été construits en 2002-2003. Chacun permet de remonter la ligne d'eau d'étiage de 25 cm, soit **+50 cm** au total juste à l'amont de l'ouvrage, **avec un impact sur les lignes d'eau sur 5 km à l'amont de l'ouvrage** (constat sur 5 ans). Avec le temps, l'impact sur l'amont a tendance à se prolonger au-delà des 5 km (voir relevé des lignes d'eau).

Résultats (après 5 ans d'observation):

- l'impact de l'ouvrage sur les pertes de charge est conforme aux résultats attendus
- **il y a effectivement une tendance à la remontée de la ligne d'eau d'étiage sur 5 km à l'amont** des ouvrages et au-delà (évolution progressive), avec un gain de +50 cm juste à l'amont, de +20 cm à 5 km , **avec un impact rapide.**
- **les ouvrages ont permis d'augmenter les débits d'eau dans le bras secondaire de Cul de Bœuf.** Pour un débit de 1260 m³ /s, le bras secondaire voyait passer de l'ordre de 290 m³ /s avant la construction des ouvrages et de l'ordre de 435 après. Ces nouveaux débits ont creusé le bras secondaire (évacuation de 230 000 m³ de sable en 3 ans) sur une hauteur équivalente de 35 à 45 cm. La continuité hydraulique du bras est rétablie à un débit de 280 m³ /s, alors qu'elle était interrompue sous les 500 m³ /s avant 2001. Pas d'impact a priori sur le bras secondaire correspondant à l'île suivante.
- **L'impact sur les frayères est positif**
- **La transparence migratoire de l'ouvrage a été vérifiée**

Inconvénients :

- **l'ouvrage en géotextile est laid**, un problème d'insertion dans le paysage.
- **Les 2 ouvrages seuils du Fresne se dégradent fortement.** Le géotextile vieillit mal et part en morceaux. Les pêcheurs retrouvent des morceaux de géotextiles dans leurs filets.
La fosse (à l'aval du 1er ouvrage) s'est déplacée et menace de déchausser l'ouvrage de génie civil.
VNF a réalisé des travaux de confortement des ouvrages à l'étiage dernier. Cependant leur pérennité est loin d'être assurée à long terme et pose la question du devenir des ouvrages.
- **une fosse** s'est creusée juste à l'aval de chaque ouvrage, (profondeur : 10 m, stabilisé) et menace la stabilité à terme de l'ouvrage.
- **Les berges s'érodent juste à l'aval de l'ouvrage**, du fait des tourbillons générés par la chute
- **La technique d'intervention est forte** : si l'objectif était de rééquilibrer les débits entre les 2 bras, **on pouvait peut-être se contenter d'agir sur les épis présents à l'entrée du bras secondaire.** Cependant les ouvrages avaient également pour objectif un relèvement de la ligne d'eau en amont des ouvrages pour une meilleure connexion de la boire de Champtocé.
- **Les effets hydro-sédimentologiques sont localisés et a priori relativement limités à l'échelle du bief.** (le programme initial prévoyait plusieurs ouvrages répartis le long du bief).
- **La navigation est perturbée.** Les bateaux peuvent descendre, mais les moins motorisés ne peuvent pas remonter, à cause du courant généré par la chute d'eau (besoin d'une puissance minimum permettant des vitesses de 12 km/h). Globalement le passage est difficile notamment à cause des tourbillons. Les ouvrages ont apporté une difficulté supplémentaire dans le bief. Par contre les bateaux passent plus aisément les seuils naturels de St-Florent ou du Pont de l'Alleud

2 - Analyses et fonctions à assurer

2 – 1 La restauration des fonctions écologiques

Les principaux enjeux écologiques du bief se situent dans **les annexes hydrauliques et les prairies** qui les environnent. En effet **la production biologique se fait principalement dans les annexes, et les prairies ont un rôle important pour la reproduction et l'alimentation des oiseaux.**

Pour bien fonctionner, **les annexes doivent être submergées et connectées au fleuve à débit moyen.**

Pour la suite on distinguera 2 types d'annexes :

- les annexes types **boires, bras morts et basses vallées d'affluent, connectées à la Loire en un seul point et ne participant pas à l'écoulement et à l'évacuation des crues**
- **les bras secondaires, connectés à la Loire en deux points et assurant un rôle dans l'écoulement et l'évacuation des crues.**

Boires, bras morts et basses vallées d'affluent

On recense sur ce bief **52 annexes** de type **boires, bras morts, marais et basses vallées d'affluent**, dont

- 4 marais,
- 7 anciens bras secondaires,
- 6 annexes artificielles (anciennes gravières par exemple)
- 35 boires dont
 - o 8 connectées directement au lit majeur
 - o 7 connectées indirectement par un bras secondaire ou une autre boire
 - o 20 alimentées par la nappe

Pour les deux dernières catégories (7 + 20), on ne saura pas analyser dans l'état actuel des connaissances l'impact d'un relèvement de la ligne d'eau. Si la ligne d'eau est relevée, ces annexes en bénéficieront, mais on ne sait pas de combien.

Le relèvement de la ligne d'eau pourrait avoir un impact aujourd'hui quantifiable sur

- Les 4 marais
- les 7 anciens bras secondaires
- Les 8 boires directement connectées au lit majeur

Pour estimer **l'enjeu écologique** de telle ou telle annexe, **le brochet** constitue un indicateur important. Pour assurer **le maintien ou la restauration de la fonction de frayère à brochet**, (pour les annexes ayant assuré cette fonction dans le passé), la boire doit être

- **submergée de façon continue en mars-avril – critère d'inondabilité**
- **partiellement connectée jusqu'en juin. – critère de connexion à 850 m³/s**

Faute de quoi, leur fonction de frayère est altérée.

Une vingtaine d'annexes sont concernées par la fonction frayère à brochet, dont les marais.

On ne pourra restaurer les fonctions (annexes noyées et connectées à 850 m³/s) pour 100% des annexes potentiellement intéressantes pour le brochet.

Parmi ces annexes, on ne restaurera que celles qui offrent **un bon compromis entre efficacité de remise en eau** (voir importance des surfaces submergées à 850 m³/s) et **l'effort de restauration à engager**. La surface des boires à restaurer sera comparée à la surface des boires et marais pouvant potentiellement assurer la fonction de frayère à brochet.

Concrètement on pourrait viser une restauration pour 70% ou 80% des surfaces concernées.

On essaiera donc de restaurer les fonctions écologiques

- **sur les annexes de grande surface** (l'ensemble actuel des annexes "à brochet" regroupe des annexes de très grande surface comme les marais, et des annexes de très petite surface)
- **sur des annexes réparties le long du linéaire**
- **sur des annexes riches en biodiversité** (les annexes de grandes dimensions répondent en général à ce critère)

Or 90 ou 95% des surfaces d'annexes dites "à brochet" correspondent à 9 ou 10 grandes annexes

- **les 4 marais**
- la boire Torse
- La Thau
- La vallée du Layon
- Les boires de Drain
- la boire de la Patache
- la boire de Champtocé

Voir tableau page suivante

Il faut différencier les critères d'**inondabilité** (durée de submersion) et **connectivité latérale** (continuité hydraulique avec le lit mineur). En effet, sur les **annexes équipées d'ouvrages**, on assure artificiellement l'inondabilité, mais la connectivité n'est plus assurée quand le fleuve a un faible débit.

Pour certaines boires, on peut améliorer la connectivité en abaissant le point de connexion (suppression des bouchons sableux ou d'épis) mais il ne faut pas descendre sous le niveau correspondant au module car on favorise alors la vidange de ces zones humides.

Les marais assurent cette fonction de frayère à brochet **sur des grandes surfaces**. L'inondabilité est généralement garantie par des ouvrages. **La connexion dépend du mode de gestion de l'ouverture.**

Cependant les ouvrages de retenue d'eau ne sont que des solutions à court terme et provisoires, en attendant la remontée de la ligne d'eau, le confinement est préjudiciable au milieu vivant et la gestion peut s'avérer difficile.

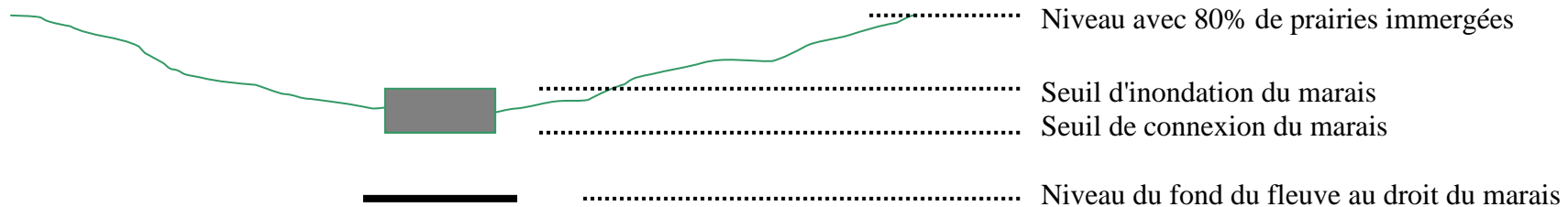
Récapitulatif des principales annexes hydrauliques "à brochet"

Annexes	surface mouillée à 1100 m ³ /s	surface totale	avec prairie	localisation	enjeu brochet	enjeu oiseaux	enjeu biodiversité	connecté lit vif	seuil de connexion	contrôlé par ouvrage de déconnexion	seuil d'inondation	contrôlé par ouvrage de retenue	public/privé	collectivité intéressée ?	besoin relèvement ligne d'eau à 850 m ³ /s (connexion)	Remarque
Marais de la Baumette	91 ha	246 ha		extrémité amont	oui	oui	oui	via la Maine	350 m ³ /s	non	840 m ³ /s	oui	privé	Saint Gemmes /Loire (opé réalisée 1997)	connexion OK	
Marais de Goulaine	8,4 ha	1516 ha		zone marnante	oui	oui	oui	perché à 5m au dessus basses mer	hors de portée	oui	hors de portée	oui	privé		sans espoir	Historiquement meilleure zone de reproduction du brochet, restauration inaccessible à court terme
Marais de Grée	137 ha	193 ha		limite zone marnante	oui	oui	oui	via bras île Delage	1000 m ³ /s	oui	1200 m ³ /s	oui	privé		+1m	
Marais de Méron	9 ha	51 ha		limite zone marnante	oui	oui	oui	via bras du Bernardeau	1000 m ³ /s	oui	1200 m ³ /s	non	privé		+1m	
Boire Torse	40 ha	129 ha		milieu du bief	oui	oui	oui	via bras du Bernardeau	1000 m ³ /s	oui	1200 m ³ /s	non	public /privé	Plan Loire hydro-écologie en cours	+1m	
Boire La Patache	4,5 ha	13 ha		zone marnante	oui			via "port" de la Patache	1100 m ³ /s	oui	1300 m ³ /s	non	privé		+1m	
La Thau	20 ha	66 ha	oui	milieu du bief	oui		oui	oui	650 m ³ /s	oui	1200 m ³ /s	non	privé		+ 1 m inond	gros potentiel
la vallée du Layon	70 ha			amont	oui		oui	oui	600 m ³ /s	non	900 m ³ /s	non	privé		connexion OK	
les boires de Drain	7 ha	9 ha	oui	milieu du bief	oui			via bras des Brevets	1700 m ³ /s	oui	1800 m ³ /s	en projet	privé collectivité	demande locale	+1,50 m	
Boire de Champtocé	17 ha	22 ha		amont	oui		oui	oui	250 m ³ /s	non	1100 m ³ /s	non	public /privé		connexion OK	

Si on considère ces 10 annexes (qui représentent 90% des surfaces d'annexes "à brochet")

- 40 % des surfaces sont aujourd'hui fonctionnelles (inondabilité et connexion au lit majeur à 850 m³/s)
- 90 % des surfaces sont reconnectables avec un relèvement de la ligne d'eau à 850 m³/s, de + **1,30 m**
- Seul le marais de Goulaine n'est pas reconnectable à moyen terme

Pour reconnecter 90 % des surfaces d'annexes "à brochet", il faudrait remonter la ligne d'eau d'environ **+1,30 m** pour garantir le fonctionnement de la connexion aux débits moyens de $850 \text{ m}^3/\text{s}$ et de **+2,50 m** pour assurer l'inondation des prairies notamment sur le secteur compris entre l'entrée de la boire Torse et le Cellier



Rappel : Les ouvrages de retenue d'eau ne sont que des solutions court terme (= solution provisoire, en attendant la remontée de la ligne d'eau), le confinement est préjudiciable au milieu vivant.

Il faudrait intervenir VITE, soit **+1,30 m** d'ici **15 ans**
(sur les 40 dernières années, on a perdu 1,60 m à Ancenis au débit d'étiage de $177 \text{ m}^3/\text{s}$)

Une vingtaine d'annexes hydrauliques ne présentent pas aujourd'hui des caractéristiques favorables par assurer la fonction de frayère à brochet. Il s'agit généralement de boires connectées par la nappe, à une autre boire ou situées à l'extrémité d'anciens bras morts et qui ne sont pas encore végétalisées.

Ces boires abritent aujourd'hui des espèces (faune ou flore) à préserver, par exemple certains types d'amphibiens.

Les études à venir préciseront quels sont les enjeux écologiques pour ces annexes et comment les protéger.

FONCTION : **assurer l'hétérogénéité des milieux**

Les bras secondaires

Ces bras participent à des fonctions variées :

- d'accueil de la faune aquatique et de nourricerie,
- de reproduction des oiseaux : ex : offrir des surfaces hors d'eau et protégées des prédateurs, pendant la période de nidification des sternes
- d'écoulement des crues
- de paysage (objectif : conserver un paysage avec des îles)

Dans le lit mineur, les grèves sont de plus en plus accessibles aux promeneurs et aux prédateurs. Les problèmes de crues printanières et de sécheresse sont néfastes à la reproduction des oiseaux.

FONCTIONS :

- **Conserver les bras secondaires en tant que bras d'écoulement** (éviter qu'ils se transforment en bras morts)
 - **Maintenir/ rétablir la continuité hydraulique à l'étiage**
 - Garantir 1/3 de la surface du bras hors d'eau pour un débit de 600 m³ /s (pour la reproduction de certaines espèce d'oiseaux), avec des îlots à l'abri des prédateurs (sites spécifiques à lister)
 - Offrir des zones de moindre courant pour les juvéniles de poissons

ANALYSE

Le bief compte au total **36 bras secondaires**, ils ont des débits de connexion très variables.

L'analyse (réalisée dans le cadre de cette étude) sur les cotes de connexion, a porté sur **29 bras** secondaires (sur les 36). Elle ne donne qu'une première estimation des éléments de topographie faisant obstacle à la continuité hydraulique et doit être complétée par une analyse plus fine basée sur l'utilisation d'une topographie détaillée des bras.

En résumé de cette 1^{ère} analyse : parmi les 29 bras secondaires étudiés, seuls **22 bras** jouent réellement un rôle de **bras** secondaire, les 7 autres s'apparentant plus à des boires. Parmi les 22 « vrais » bras :

- **10 bras** seraient alimentés à des étiages moyens
- **12 ont des conditions d'alimentation potentiellement améliorables.** Ils sont connectés aujourd'hui par l'amont ou par l'aval à des débits moyens compris entre **550 et 1100 m³/s**

Pour augmenter la durée et la fréquence de mise en eau des bras secondaires, on peut

- relever de la ligne d'eau à l'étiage et au module
- **ET/OU modifier / supprimer des ouvrages (chevrettes, gués)**
- **ET/OU modifier la topographie dans les bras**

Les projets de restauration des bras secondaires comprennent 2 volets :

- Le projet global de restauration du bief avec le relèvement de la ligne d'eau (nécessaire par ailleurs)
- Une restauration spécifique de chaque bras, adaptée au cas par cas

Information complémentaire : certains bras font l'objet **d'une demande locale de restauration :**

- bras de l'île Delage
- bras de la Ciretterie
- bras du Cellier
- bras d'Anjou
- bras d'Anetz

Les prairies

Les prairies humides participent aux fonctions de **haltes migratoires et à la reproduction des oiseaux.**

Espèces concernées : **les canards de surface, les grands échassiers, la bécassine des marais, les barges à queue noire, les combattants variés, les bécasseaux...**

Ces migrateurs printaniers ont besoin de **prairies humides** avec différents degrés de submersion : sols détremés, prairies faiblement inondées (**5 à 20 cm**) et prairies inondées (**40 cm**), **inondées en continu** sur une période **février à avril.**

Actuellement l'abaissement de la ligne d'eau a un impact négatif sur l'avifaune.

Dans le lit majeur, l'assèchement relatif de certaines prairies fait que les fauches sont plus précoces, ce qui est néfaste pour la reproduction de certains oiseaux (destruction des œufs et des poussins). L'irrégularité des crues et des débits fait que les prairies directement en contact avec le fleuve (sans vannage) sont inondées de façon sporadique, ce qui ne permet pas toujours le développement de chaînes trophiques complètes dont les oiseaux sont les derniers maillons.

Les prairies humides sont en général situées autour des annexes hydrauliques. Le relèvement de la ligne d'eau s'accompagnera d'une amélioration sur l'inondation des prairies. **Cependant pour assurer la fonction à 90%, il faudrait remonter la ligne d'eau de 2,50 m, objectif jugé irréaliste.**

2 – 2 La navigabilité

Le bief entre Nantes et Angers est **inscrit dans la nomenclature des voies navigables de l'Etat** et VNF en est le gestionnaire). Il est classé comme **voie d'eau à vocation multiple** dans le schéma national des voies navigables. Or de fait il n'y a quasiment pas (ou très peu) de navigation à vocation commerciale. La navigation sur ce bief se résume pour l'essentiel à une navigation de plaisance, de tourisme et de pêche (voir ci-après).

HISTORIQUE des documents administratifs sur le sujet :

- Convention interministérielle de janvier 1994, radiant des voies navigables la section Bec de Vienne – Bouchemaine mais conservant la section Bouchemaine - Nantes à la nomenclature, en spécifiant qu'un bilan devra être réalisé sur cette section à l'issue d'une période de 5 ans et qu'une décision sera alors prise quant au maintien de la navigabilité sur ce bief. A ce jour, ce bilan n'a jamais été réalisé.
- Protocole (datant de 1997) dans lequel il est précisé que « **la navigation doit s'adapter au fleuve et à son hydraulité. Dans ce but, les créations et modifications d'ouvrages en vue de la restauration du bief seront réalisées progressivement de façon à réduire les perturbations sur le milieu, les bateaux s'adaptant aux nouvelles conditions de tirant d'eau.** ». Ce principe a été intégré par les différents acteurs présents sur ce territoire et les différents **Plans Loire** successifs
- **Trois Plans Loire** successifs qui
 - o enregistrent un bilan de dégradation écologique à l'amont de Nantes
 - o affichent un objectif prioritaire de relèvement de la ligne d'eau
 - o réaffirment la règle " la navigation commerciale doit s'adapter à la Loire"

ANALYSE de la navigation sur le bief

Aujourd'hui, la navigation sur le bief se résume à :

- **une navigation de plaisance et de pêche**, avec **des trajets locaux** et du **transit** entre bassins. Ces bateaux circulent sur l'ensemble du bief. Les communes développent des possibilités d'accostage et de stationnement avec des pontons. Outre la navigation de plaisance traditionnelle, on voit apparaître de nouveaux bateaux fortement motorisés (à faible tirant d'eau) pour des activités de ski nautique.
 - o **90% des bateaux de plaisance cale moins de 0,80 m et peuvent se contenter d'1 m de profondeur d'eau.** La limite de **1 m** de hauteur d'eau est retenue comme limite de navigation en relative sécurité, car au-delà la navigation devient difficile pour tous, y compris les pêcheurs (il faut relever le moteur à certains endroits)

- **Les bateaux sont adaptés au fleuve** avec des arbres moteur courts et des tirants d'eau < 0,80 m
 - Les bateaux font principalement des sorties à la journée
 - **L'association ANPEI** compte 130 adhérents locaux sur les 1000 inscrits sur toute la France : 90 pour la Loire et 40 pour l'Anjou. Les liaisons Bretagne-Anjou concernent environ 150 bateaux membres de l'ANPEI, sans compter les non-membres. Ces liaisons sont cependant gênées par le franchissement difficile des seuils du Fresne. Les adhérents de l'ANPEI sont à 70 % des retraités, ceux-ci s'adaptent aux hauteurs d'eau du fleuve.
 - **La flotte globale susceptible d'utiliser ce bief correspond sans doute à 200 ou 300 bateaux** (200 unités basées sur le bief et la navigation de passage)
- **Des bateaux à passager** (en exploitation commerciale) : 8 unités (*3 unités pour les Bateaux Nantais, la Luce à Champtoceaux, la Ligériade II et la Montjeannaise à Montjean-sur-Loire, la Douvre et l'Hirondelle à Angers*), **de tirant d'eau 30 à 80 cm**, circulant **dans des secteurs limités** entre Nantes et Le Cellier d'un côté, et entre Angers et l'entrée de la boire Torse de l'autre (aucun bateau ne navigue sur l'ensemble du bief). VNF estime qu'il ne peut **garantir la sécurité de la navigation des bateaux à passager** sur les différents secteurs du bief concernés qu'avec **une hauteur d'eau minimum de 1,20m à l'étiage**. Reste à préciser pour quel niveau d'étiage.
 - **Le transport commercial de fret** est quasiment absent aujourd'hui, en dehors de l'activité d'un sablier sur la partie aval du bief (7 à 8 km). Les navires de tirant d'eau 4,50 m, s'adaptent aux conditions de hauteur d'eau à l'intérieur de la zone marnante.

Pour l'avenir, si la flotte de plaisance est actuellement constituée majoritairement de bateaux adaptés aux conditions actuelles de navigation (tirant d'eau < 80 cm), elle pourrait évoluer en raison du potentiel de développement touristique, avec plus de bateaux de types :

- **des bateaux de mer** : tirant d'eau minimum **0,90 m** (correspondant à hauteur d'eau de 1,10 m)
- **des bateaux fortement motorisés** (fort déjaugeage mais faible tirant d'eau)
- **des bateaux de location avec implantations de loueurs**, on peut supposer que ceux-ci adapteront leur flotte aux conditions du fleuve

Eu égard au classement actuel du bief*, VNF souhaite maintenir les usages de navigation actuels : navigation de plaisance et de pêche, bateaux à passager, sablier à l'aval

* il appartient à l'Etat de maintenir le classement actuel de la voie d'eau ou de la déclasser

Une profondeur d'eau de 1 m permet de répondre à la majorité des besoins actuels tout en étant moins contraignante pour la restauration morphologique du lit

La prise en compte de besoins à hauteur de 1,20 m donne plus de marge de manœuvre pour le développement du tourisme fluvial, mais peut générer davantage de contraintes pour la restauration

Le groupe actuel renvoie ce choix à d'autres instances

ANALYSE des profondeurs d'eau disponibles actuellement

Une analyse sur les profondeurs d'eau actuelles a été réalisée lors de l'étiage le plus sévère de l'année 2008 situé en octobre à **218 m³/s** (on a connu des étiages plus sévères).

Les débits sont en moyenne inférieurs à 218 m³/s sur 60 jours/ an, l'équivalent de 2 mois par an.

Les débits sont en moyenne inférieurs à 250 m³/s (étiage moyen) sur 72 jours/ an, l'équivalent de 2,4 mois par an. **La période où le débit est inférieur à 250 m³/s affecte le plus souvent la période d'août à novembre.**

Au débit de 218 m³/s,

- la majorité du linéaire du bief offre une profondeur d'eau de 1,20 à 1,50 m
- **quelques secteurs sont limités** dont le bras de Béhuard, au droit de l'île Mureau, qui présente 2 points durs à **0,90 m** de profondeur d'eau (au débit moyen d'étiage de 250 m³/s, tout le bief offre une profondeur d'eau supérieure à 1 m - en dehors de quelques points dans la zone marnante à basse mer).
- sur un certain nombre de secteurs (à préciser sur carte), **on bénéficie d'une marge de manœuvre avec des hauteurs d'eau actuelles supérieures à 1,50 m ou 1,80 m**, (on peut peut-être sur ces secteurs, envisager de réduire les hauteurs actuelles)

Si on exclut la navigation des sabliers positionnée dans la zone marnante, les usages à maintenir, plaisance et bateaux à passagers se déroulent principalement **pendant la période estivale. Or les débits moyens sont de**

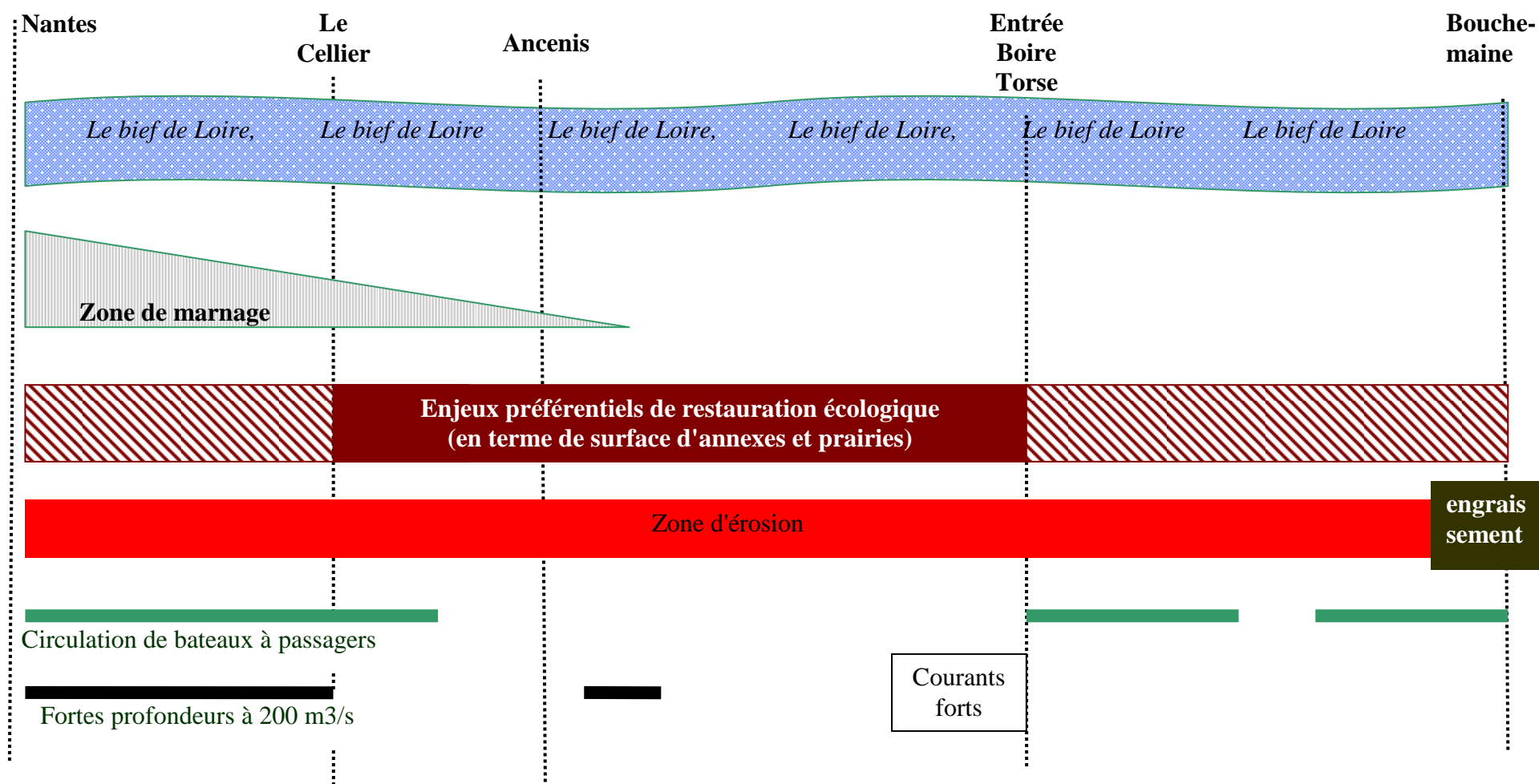
- **363 m³/s en juillet**
- **252 m³/s en août**, mois le plus sec de l'année (débit réel : 50% du temps au dessus de ce chiffre et 50% du temps au dessous)

Sur la période de juillet / août (haute saison pour la plaisance), **les débits sont en moyenne supérieurs à 250 m³/s** (= étiage moyen) **pendant 75% de la période** (les 72 jours par an - équivalent à 2,4 mois - où le débit est inférieur à 250 m³/s - affectent le plus souvent la période d'août à novembre).

FONCTIONS à assurer

- **Permettre la navigation de plaisance, de pêche et de tourisme** (bateaux à passagers) avec une **hauteur d'eau minimum de 1 m**
 - **La valeur de 1 m correspond aux bateaux actuels qui sont adaptés à la Loire** (avec des tirants d'eau majoritairement $< 0,80$ m)
 - **La valeur de 1,20 m correspondrait à une forte volonté de développement touristique (avec remontée des bateaux de mer et développement de bateaux fortement motorisés,....)**
 - pour des débits d'étiage de $250 \text{ m}^3/\text{s}$ (= étiage moyen), ou $218 \text{ m}^3/\text{s}$ (à préciser) ?
 - sans obstacle et sans augmenter la dangerosité (à voir secteur par secteur, les passages difficiles).
- **Autoriser la navigation commerciale de fret** dans la mesure où les bateaux s'adaptent à la Loire et à sa restauration.

2 – 3 Schéma récapitulatif des enjeux sur le bief



2 – 4 Cahier des Charges Fonctionnelles

Principes de l'analyse des fonctions :

- **reformuler le problème en termes abstraits sans parler de solution**
- **préciser le juste nécessaire**
- **quantifier tout ce qui est quantifiable**
- **préciser les libertés et les tolérances**

<p style="text-align: center;">FONCTIONS - ECOLOGIE</p> <p style="text-align: center;">Restaurer un certain nombre de fonctions écologiques du bief</p>	<p style="text-align: center;">QUANTIFICATION EXIGENCES</p>	<p style="text-align: center;">LIBERTES</p>
<p>Boires, bras morts, marais, basses vallées d'affluent</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dans les annexes ayant servi de frayère pour le brochet (annexes listées page 13), maintenir ou restaurer la reproduction du brochet (espèce référente) <ul style="list-style-type: none"> 1. Garantir une boire noyée en continu en mars et avril, au minimum 2. Assurer une connexion temporaire en mai et juin <ul style="list-style-type: none"> - Relever la ligne d'eau d'1,30m à 1,80m au droit de chaque annexe à enjeu, au débit de 850 m³/s - Si l'annexe est déjà gérée avec un ouvrage, limiter le confinement préjudiciable au milieu vivant (ouvrage = solution provisoire en attendant la remontée de la ligne d'eau) - Assurer l'alimentation des canards et limicoles en migration prénuptiale <ul style="list-style-type: none"> - Assurer l'inondation permanente des boires et basses prairies de février à avril - Pour les autres boires, assurer la diversité des habitats <ul style="list-style-type: none"> - préserver telle espèce de flore et faune implantée sur telle boire (ex : amphibiens) 	<p>52 annexes dont 4 marais et 7 anciens bras</p> <p>20 boires et X marais</p> <p>Boires noyées et connectées à 850 m³/s</p> <p>+ 1,30 m minimum à 850 m³/s au droit de certaines annexes</p> <p>Boires inondées à 850 m³/s</p> <p>20 à 25 boires</p>	<p>Concentrer les efforts sur les annexes à très fort enjeu : surface et/ou biodiversité (on n'est pas obligé de restaurer toutes les boires)</p> <p>Seulement dans le secteur entre Anetz et Angers (hors zone marnante)</p>

<p style="text-align: center;">FONCTIONS - ECOLOGIE</p> <p style="text-align: center;">Restaurer un certain nombre de fonctions écologiques du bief</p>	<p style="text-align: center;">QUANTIFICATION EXIGENCES</p>	<p style="text-align: center;">LIBERTES</p>
<p>Bras secondaires (habitat aquatique spécifique, fonction accueil et nourricerie, zones de moindre courant pour les poissons, reproduction certains oiseaux)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conserver les bras secondaires en tant que bras (éviter qu'ils se transforment en bras morts) <ul style="list-style-type: none"> - Maintenir/ rétablir la continuité hydraulique à l'étiage - Permettre la circulation des organismes aquatiques - Garantir 1/3 de la surface du bras hors d'eau pour un débit de 600 m³/s (reproduction des sternes) surface isolée de la berge et des prédateurs jusqu'en juillet - Offrir une diversité de submersion des bras secondaires <p>Prairies humides : favoriser les haltes migratoires et la reproduction des oiseaux</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avoir des prairies humides et semi-humides : comme dans les années 70 et 80 <ul style="list-style-type: none"> - Retrouver un niveau de nappe favorisant les végétations méso-hygrophiles : Relever le niveau de la nappe 	<p>22 bras</p> <p>Systématiquement soit 22 bras</p> <p>Débit à l'étiage</p> <p>1/3 surface hors d'eau à 600 m³/s</p> <p>février à mai</p> <p>1 à 40 cm d'eau en continu de février à avril</p>	<p>La fonction n'exige pas forcément un relèvement de la ligne d'eau</p>

<p style="text-align: center;">FONCTIONS - ECOLOGIE</p> <p style="text-align: center;">Restaurer un certain nombre de fonctions écologiques du bief</p>	<p style="text-align: center;">QUANTIFICATION EXIGENCES</p>	<p style="text-align: center;">LIBERTES</p>
<p>Rives : favoriser l'accueil écologique des espèces flore et faune spécifiques (fleuve et annexes)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ respecter la mobilité des rives ▪ encourager la renaturation des rives ▪ éviter la déstabilisation des rives liée à un ouvrage <p>Lit principal : conséquence des fonctions qui précèdent et autres fonctions</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permettre la circulation des organismes aquatiques, poissons migrateurs et autres <ul style="list-style-type: none"> - Eviter les obstacles à cette libre circulation - Aider le lit à retrouver un équilibre hydro-morphologique, notamment sur le profil en long <ul style="list-style-type: none"> - Inverser la tendance à l'érosion du lit dans les secteurs où il y a érosion - Stopper le phénomène d'érosion régressive - Alimenter les annexes hydrauliques, boires, marais, bras secondaires, comme spécifié ci-dessus 	<p>De février à juin/ juillet pour les boires et prairies</p> <p>Exigence à l'étiage pour les bras secondaires</p>	<p>Partout ?</p> <p>Seulement sur les secteurs où le lit continue à se creuser</p>

<p style="text-align: center;">FONCTIONS - ECOLOGIE</p> <p style="text-align: center;">Restaurer un certain nombre de fonctions écologiques du bief</p>	<p style="text-align: center;">QUANTIFICATION EXIGENCES</p>	<p style="text-align: center;">LIBERTES</p>
<p>Faciliter l'évacuation des crues</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Conserver les bras secondaires en tant que bras (éviter qu'ils se transforment en bras morts) ○ Favoriser l'auto-entretien des bras secondaires et autres annexes hydrauliques <p>Ne pas remonter les niveaux d'inondabilité pour l'habitat (Pour la crue de référence du Plan de Prévention des Risques Inondation)</p>		

AUTRES FONCTIONS	QUANTIFICATION EXIGENCES	LIBERTES
<p>Permettre la navigation de pêche, de plaisance et de tourisme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Garantir la sécurité des bateaux à passager <ul style="list-style-type: none"> - Offrir une hauteur d'eau de l'ordre de 1 m pendant 75% de la période estivale, soit pour des débits supérieurs à 220 ou 250 m³ /s - Permettre la navigation de plaisance et le transit d'un bassin à un autre pendant 75% de l'année (hors étiage sévère), pour des tirants d'eau de l'ordre de 0,80 m (ou 1 m à préciser, voir pages 3 et 4) - sans obstacle et sans augmenter la dangerosité <p>Permettre la navigation commerciale, dans la mesure où celle-ci n'impose pas de contraintes supplémentaires au fleuve et ne contrarie pas les projets de restauration écologique, suivant le principe "les bateaux de commerce devront s'adapter à la Loire"</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maintenir la circulation des sabliers à l'aval du bief <p>Maintenir les accès agricoles aux îles sans entraver la continuité hydro-sédimentaire</p> <p>Maintenir l'attrait paysager des rives pour la promenade</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Conserver un paysage avec des îles, soit maintenir les bras secondaires ○ Veiller à l'esthétique des ouvrages 	<p>Volume de trafic ? 8 bateaux à passagers</p> <p>hauteur d'eau de 1 m pour un débit de 220 m³ /s ou 250 m³ /s (étiage moyen)</p> <p>hauteur d'eau mini de 1 m (ou 1,20 m ?) pour débit ?</p> <p>Trafic actuel très faible hors sabliers à l'aval</p>	<p>Seulement sur les secteurs où existe aujourd'hui une circulation de bateau à passagers</p> <p>Sur tout le bief</p> <p>Sur tout le bief ou une partie du bief ?</p> <p>Seulement en cas d'usage avéré</p>

3 - Principes de solution

3 – 1 La restauration du lit mineur

Les analyses hydro-morphologiques de M. Lefort (voir annexe) montrent que la remontée de la ligne d'eau de 1,30 m au débit du module (nécessaire pour la restauration des annexes hydrauliques) passe par :

- **La gestion du stock de matériaux disponibles, secteur par secteur ;**
- **Le blocage de ces matériaux dans le bief** (éviter que les matériaux ne partent à l'aval) en créant une perte de charge et **en réduisant de la pente du bief.**

Gérer un stock de matériaux de granulométrie > 1 mm

L'apport estimé nécessaire pour faire remonter les fonds de 1,30 m sur un linéaire de 80 km serait de **20 millions de m³ de sable de granulométrie > 1 mm**, volume énorme au regard des apports naturels du fleuve. Tout matériau de granulométrie < 1 mm est automatiquement charrié par le fleuve et se dépose dans l'estuaire ou au-delà.

Les apports possibles (dans la granulométrie utile):

- **L'apport naturel du fleuve est compris entre 120 000 et 200 000 m³ par an**, soit en 20 ans **2,4 à 4 millions de m³**
- **le sable bloqué entre les épis, dans les bras secondaires, et autres annexes si la granulométrie est > 1 mm** (étudier la granulométrie du stock mobilisable)
- **l'érosion des berges** (à condition de racheter du terrain et de supprimer la protection des rives). Par exemple une érosion d'une bande de 10 m sur 50 km pourrait apporter **1 million de m³ de granulométrie > 1 mm**. Cette action pourrait être combinée avec l'idée de favoriser l'augmentation du méandrage (érosion des courbes) avec pour effet de réduire la vitesse de l'écoulement
- **utiliser les matériaux extraits à l'aval si la granulométrie est adaptée**
- **apports extérieurs**, dans le respect de la loi sur l'eau
- **Rechercher des solutions pour réduire le besoin en apport** : peut-on accepter, sur certains secteurs, une remontée des fonds inférieure aux 1,30 m cités précédemment ?

Le blocage de ces matériaux dans le bief

Pour bloquer le sable, il est nécessaire de diminuer la capacité de transport du fleuve et donc de ralentir les courants (si les vitesses ne changent pas, le flux conserve la même capacité de transport), pour ce faire, on peut

- **Restaurer les largeurs**, notamment là où le passage est étroit, par exemple en favorisant **l'érosion des berges** ou en rééquilibrant le passage entre bras principal et bras secondaire
- **Favoriser le méandrage**
- **Réduire la hauteur des épis**. Les épis dans leur dimensionnement actuel sont responsables d'un abaissement de la ligne d'eau de 0,20 à 0,40 m suivant les sections. La réduction de leur hauteur aura un impact faible sur les profondeurs d'eau. Le remodelage des épis devra s'adapter au cas par cas en fonction des hauteurs d'eau pour la navigation, des bras et boires à alimenter, du méandrage souhaité,....

Globalement, l'expert estime que les aménagements morphologiques apporteront une remontée de la ligne d'eau (à terme), maximale de 0,50 m.

Pour répondre à l'objectif d'1,30 m, il faut mettre en œuvre une action structurante – voir ci-après

- **Réduire la pente des fonds du fleuve** (seule solution pour remonter la ligne d'eau de 1,30 m) soit racheter une dénivelée de 1,30 m à 1500 m³ /s
 - o **Reconstituer un ou plusieurs seuils naturels le plus en aval possible, avant Nantes**. Cette surélévation peut se faire par pallier ou progressivement sur une longueur importante (de l'ordre de 800 m - à étudier)
Concrètement, il est proposé de **reconstituer une structure « rugueuse » progressive apportant au total une hauteur de chute de 1 m à l'emplacement de l'ancien seuil de Bellevue**. Ce positionnement a plusieurs avantages :
 - le seuil est bien positionné à l'interface entre une zone de dépôt et une zone d'érosion
 - il serait relativement **moins coûteux** car le plateau rocheux existe toujours sur la moitié de la section (technique possible : enrochements et/ou épis à radier)
 - il est situé **dans la zone marnante et ne fera pas obstacle à la remontée de la civelle et des bateaux**
 - il permet de résoudre **75% de la fonction, avec une remontée de 1 m**. Pour les 25 % restants, d'autres solutions sont à envisager : réduction des hauteurs des épis, restauration des largeurs, méandrage, autre

seuil,... (voir les actions plus ciblées pour la restauration du secteur préférentiel entre **Le Cellier et l'entrée de la boire Torse**)

- points à vérifier :
 - comment **l'onde de marée** va-t-elle se réfléchir sur l'ouvrage ?
 - quelle franchissabilité pour les poissons et les bateaux ?
 - quel impact sur l'écoulement des crues ?

L'ordre de mise en œuvre des actions

En l'absence de crue, le sable se déplace vers l'aval à une vitesse de 200 m /an. Une forte crue charrie les matériaux sur plusieurs km en quelques semaines.

Les développements ci-dessus montrent qu'il est plus efficace **de mettre en place des actions de maintien du sable dans le bief AVANT de remobiliser une partie du stock potentiel de matériaux.**

A noter que concernant l'opération expérimentale de remodelage des épis, située plus en amont, la problématique est différente, la pente de la ligne d'eau étant plus faible à ce niveau.

3 – 2 La restauration interne des annexes et de leurs connexions

La restauration des annexes passe à la fois par la restauration du lit mineur et par des actions internes aux annexes et à leurs connexions.

Une étude spécifique est à faire annexe par annexe.

On trouvera ci-après des idées générales à appliquer au cas par cas.

Fonction : Améliorer la connexion entre l'annexe et le lit principal	Fonction : Maintenir les BRAS secondaires en tant que bras
<ul style="list-style-type: none">- Enlever les bouchons sableux- Effacer les gués surélevés- Dévégétaliser- Effacer les obstacles, bois mort,...- Effacer les ouvrages- Remplacer des ouvrages fixes par des ouvrages mobiles, ouvrir les chevrettes- Rendre l'ouvrage franchissable par conception et gestion, pour les sédiments et poissons- Modifier les règlements de gestion des ouvrages- Remodeler certains épis- Curer l'annexe	<ul style="list-style-type: none">- Aménager les épis existant amont et aval pour équilibrer les courants entre bras principal et bras secondaire- Des épis guideau = ouvrage déflecteur qui oriente le courant vers le bras secondaire aux débits d'étiage- Supprimer ou contrôler les duits, chevrettes, et autres ouvrages transversaux- Dévégétaliser, entretenir- Scarifier pour ouvrir

Si la restauration d'une annexe avait pour conséquence la remobilisation d'un stock important de matériaux de granulométrie > 1 mm, celle-ci **doit être programmée de préférence après la mise en œuvre d'une solution de blocage des sédiments.**

3 – 3 Solutions d'exploitation / réglementaires / foncières / information

Troisième volet de solutions, soit en accompagnement des 2 volets précédents soit pour préparer l'avenir, il est proposé de mettre en place des mesures d'exploitation, ou des mesures réglementaires ou foncières, ou des systèmes d'information.

Par exemple pour la fonction : **Maintenir une navigation de plaisance estivale**, le groupe de travail a émis **les idées** suivantes :

- Editer un guide pratique à l'usage du plaisancier / sensibiliser les usagers sur ce qu'est la Loire et sa navigabilité relative
- Sécuriser au mieux la navigation en améliorant le balisage, ou...
- Prendre en compte le critère sécurité dans les solutions (seuils ou autres)
- **Développer des aides à la navigation** comme le remorquage pour aider au droit des passages difficiles
- Liaison radio permanente
- Modifier le règlement de police, ex : interdire certaines puissances
- Présence d'un dépanneur en haute et moyenne saison

Concernant **les annexes dont l'entrée est commandée par un ouvrage**, il est proposé d'examiner si les règles de gestion des ouvrages sont favorables ou non à la préservation du patrimoine écologique de l'annexe et éventuellement **de modifier les règlements de gestion de ces ouvrages**.

Concernant **l'érosion des berges**, processus naturel à encourager dans certains secteurs, les idées émises par le groupe, sont les suivantes :

- Désenrocher certains secteurs
- Acheter des terrains le long des berges
- Mettre en place un droit de préemption pour l'achat de terrains le long du fleuve
- Indemniser les propriétaires

Suites à donner

Le projet sera présenté au comité d'estuaire puis aux partenaires du Plan Loire, avec une première approche de faisabilité et de coût.

Après validation de la stratégie de restauration envisagée, des études seront à engager pour mettre au point les actions à mettre en œuvre, en cohérence avec le programme de restauration des annexes hydrauliques en cours.

Annexe

**Compte rendu de l'intervention de Philippe Lefort,
expert hydrosédimentologue, au groupe de travail
n°6 du 18 mai 2009**

Compte rendu de l'intervention de Philippe Lefort, expert hydrosédimentologue, au groupe de travail n° 6 du 18 mai 2009

Dans le cadre de la démarche de redéfinition d'un cadre d'objectifs et d'interventions pour la restauration de la Loire entre Nantes et les Ponts-de-Cé, le GIP Loire Estuaire a confié en 2008 une expertise hydrosédimentaire à Philippe Lefort, expert hydrosédimentologue. Ce dernier est invité à présenter les principaux enseignements issus de son expertise au groupe de travail du 18 mai 2009. L'intervention de Philippe Lefort s'articule autour des 2 parties suivantes :

- Etude de l'interaction entre écoulement et morphologie sous l'effet des interventions antérieures (ouvrages de navigation et extraction de matériaux) et des actions de restauration envisageables dans le futur ;
- Actions de restauration envisageables en tenant compte des contraintes de navigabilité, franchissabilité piscicole et risques d'inondation.

Philippe Lefort souligne la forte variabilité des fonds dans le temps et dans l'espace, ce qui rend l'analyse difficile :

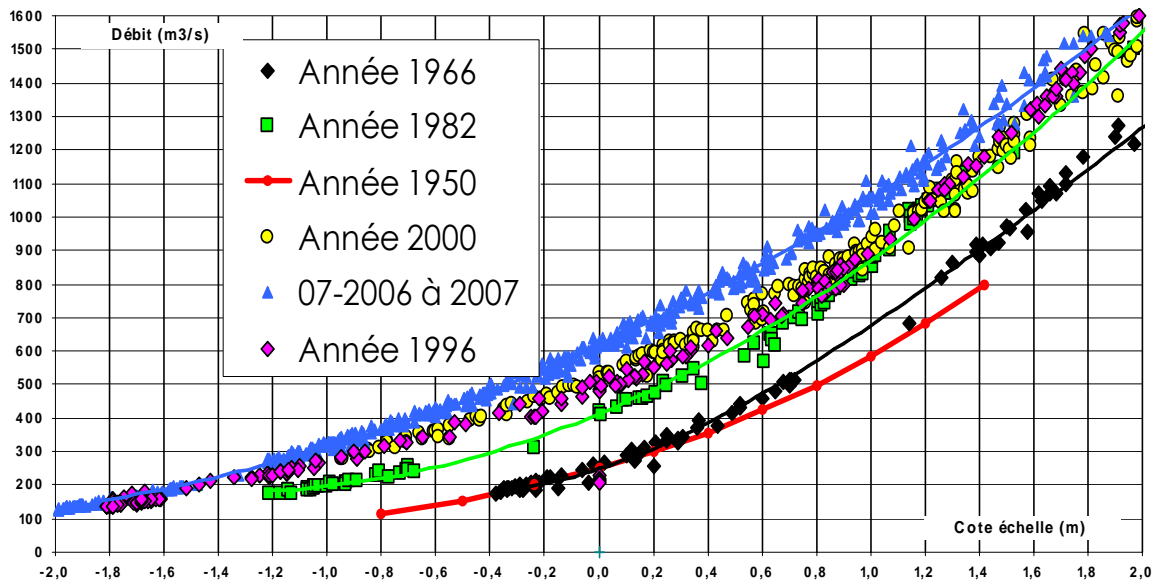
- Plus le lit actif est resserré, plus les évolutions du lit sont marquées ;
- Plus les crues de la Loire sont importantes, plus les fonds se creusent.

Il cite l'exemple du secteur situé juste en amont du Pont d'Ingrandes où le lit s'est creusé de 4 mètres entre 1995 et 2001 sous l'effet des fortes crues, et du secteur en aval de Montjean où cet enfoncement du lit n'a été que de 1 mètre. Il précise que ces périodes de surcreusement des fonds sont suivies par des périodes de remontée des fonds lorsque les débits retrouvent des valeurs moins extrêmes.

Face à la difficulté d'analyser les fonds du fait de leur forte variabilité, Philippe Lefort a basé son expertise sur l'étude des niveaux d'eau de Loire, paramètre intégrateur des différentes variations de fond en fonction des conditions régnant plus à l'aval et révélateur des évolutions moyennes. Cette approche est pertinente sur la partie de Loire non soumise à la marée mais s'avère plus délicate en aval du fait de l'influence de la marée, de la pression atmosphérique, du vent, etc.

L'analyse de Philippe Lefort a démarré par un travail important de compilation de données pour produire des courbes de variation de niveau en fonction du débit de la Loire, aux différentes stations limnimétriques du secteur étudié. Un exemple en est donné ci-dessous :

Variation des niveaux à la Possonnière de 1950 à 2007



Pour un débit donné, ce graphe montre l'abaissement des niveaux d'eau entre 1950 (courbe rouge) et 2006-2007 (triangles bleus).

Philippe Lefort explique qu'une chute des lignes d'eau mise en évidence par ce type de graphe n'est pas toujours révélatrice d'un abaissement des fonds mais peut s'expliquer par un effet « hydraulique ». Pour illustrer ce point, il cite l'exemple de la brèche qui s'est ouverte dans la chevrette de l'Alleud en 1995 et qui a contribué à dériver une partie du débit de la Loire, réduisant ainsi le débit transitant dans le bras principal du fleuve. Ceci s'est traduit par une réduction des niveaux d'eau en amont de la brèche, se faisant sentir jusqu'à la station de la Possonnière par effet de remous. A cause de la brèche, les débits dans le bras de Chalennes sont plus faibles, ce qui se traduit par un abaissement des lignes d'eau mais aussi par une remontée des fonds, la capacité de l'écoulement à transporter du sable étant plus faible.

L'analyse des variations de niveau d'eau de 1900 à 1950, entre La Pointe et Montjean, donne les résultats suivants :

- Baisse des niveaux d'eau à l'étiage de l'ordre de 40 cm du fait de la construction des épis pour la navigation ;
- Inversement, espoir d'un rehaussement des niveaux d'étiage de + 40 cm avec un remodelage des épis (sans élargissement du chenal).

L'analyse des variations de niveau d'eau de 1950 à 1995, entre La Pointe et Montjean, donne les résultats suivants :

- La baisse des niveaux d'eau est le résultat des extractions de sable et de la création du chenal des Lombardières ;
- Cette baisse est limitée au niveau des stations de la Possonnière et de Chalennes du fait de la présence de la chevrette de l'Alleud
- L'abaissement des niveaux d'eau est croissant d'amont en aval du fait de l'augmentation de la pente et de la capacité de transport de sable, plus on se déplace vers l'aval.

L'analyse des variations de niveau d'eau de 1995 à 2007, entre La Pointe et Montjean, donne les résultats suivants :

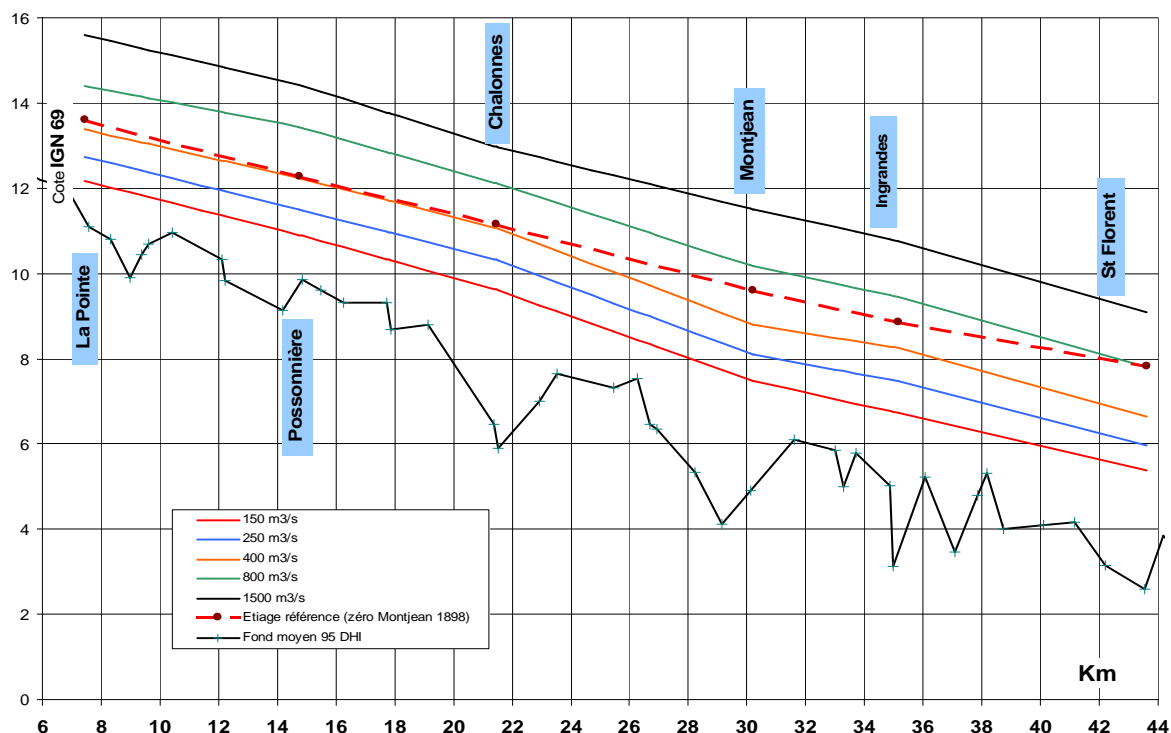
- Légère recharge à la Pointe ;
- La brèche dans la chevrette de l'Alleud provoque un abaissement des niveaux d'eau à Chalennes et Possonnière de 300 à 800 m³/s ;
- La variation de la cote à Montjean cumule les effets du remous des épis à radier du Fresne et de l'abaissement du lit, avant la construction de ces épis.

Concernant l'expérimentation de remodelage des épis programmée entre la Pointe et le viaduc de l'Alleud, Philippe Lefort indique qu'il a apporté un certain nombre de recommandations au maître d'œuvre des travaux pour adapter le projet initial, en tenant compte de la variabilité des paramètres hydro-morphologiques :

- Ajuster les dimensions du chenal à la distribution du débit de basses eaux ;
- Ne pas élargir le chenal si le tirant d'eau est trop faible ;
- Préférer l'abaissement à l'élargissement ;
- Prendre en compte les variations de largeur du lit actif.

Le profil en long ci-dessous permet de situer les lignes d'eau de 1995 par rapport à la ligne d'eau de référence de 1898 correspondant à un débit de 130 m³/s. Ce graphe montre bien l'abaissement des lignes d'eau croissant au fur et à mesure que l'on se déplace vers l'aval.

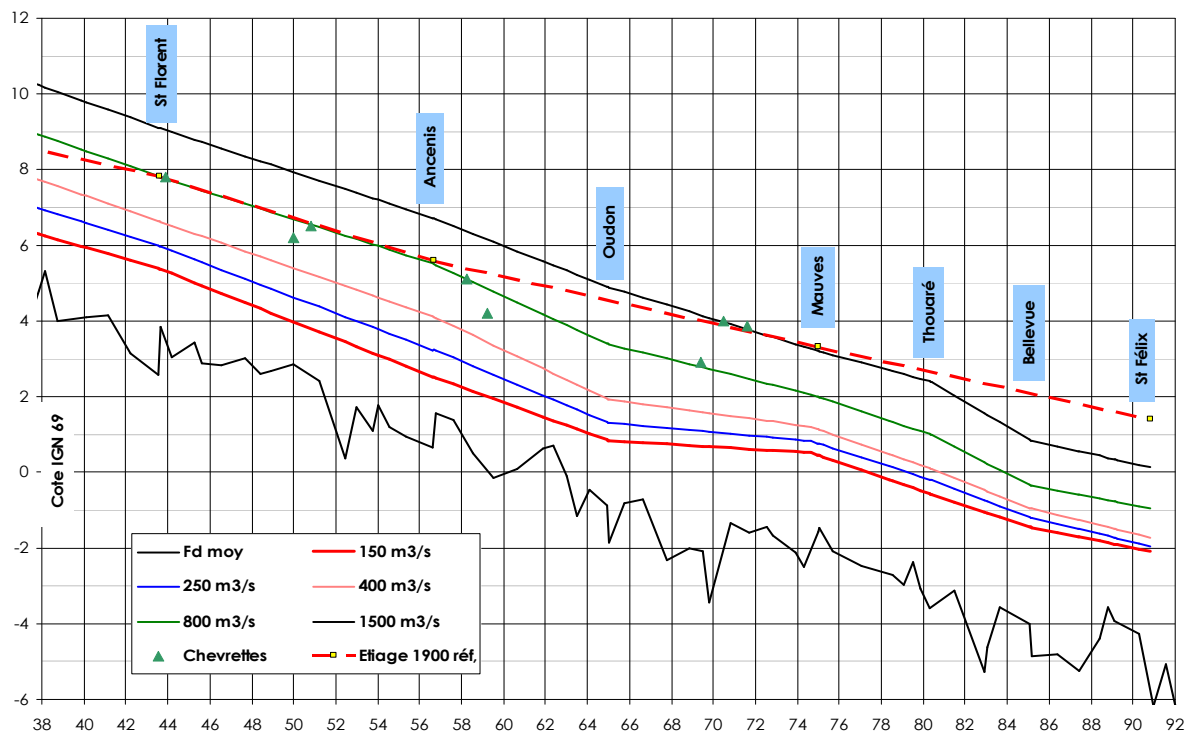
Profil en long de la Loire de la Pointe à St Florent données 1995-1996



Concernant les épis à radiers du Fresne, Philippe Lefort indique que leur fonctionnement hydraulique est globalement conforme aux objectifs que s'étaient fixés les concepteurs mais que les vitesses de chute sont trop fortes sur l'ouvrage amont ce qui rend leur franchissement délicat par les bateaux peu motorisés. Des ouvrages de moindre chute, modifiables et rechargeables seraient à privilégier.

Le profil en long ci-dessous permet de situer les lignes d'eau de basse mer de 1995-1996 par rapport à la ligne d'eau de référence de 1898, entre St Florent et Nantes. Ce graphe montre un abaissement des lignes d'eau encore plus préoccupant que le secteur plus en amont.

Profil en long de la Loire de Saint Florent à Nantes données 1995-1996



L'analyse de Philippe Lefort sur l'évolution des niveaux d'eau et des fonds de St Florent à Nantes l'amène aux conclusions suivantes, tout en précisant qu'il subsiste un certain niveau d'incertitude sur les résultats :

- Il est difficile de dire si l'abaissement des fonds constaté est en voie de stabilisation ;
- On observe un abaissement croissant de Montjean à Nantes qui serait lié à une érosion régressive ;
- La pente d'écoulement actuelle est supérieure à la pente en 1900 ce qui indique que la remontée des fonds est impossible sauf à Nantes et en aval ;
- Les extractions de sable dans la Loire ayant cessé en 1994, les fonds connaissent depuis une évolution « naturelle » ;
- L'appréciation est difficile : marée (choix d'un coefficient), pression, vent, fluctuation locale des fonds.

L'analyse réalisée sur l'évolution des fonds de 1995 à 2006, entre Mauves et Nantes, donne les indications suivantes :

- Erosion entre Mauves et Bellevue,
- Sédimentation entre Bellevue et le Bras de Pirmil.

Philippe Lefort indique l'on pourrait s'attendre à une plus forte érosion des fonds, vu l'augmentation de la pente constatée lorsqu'on se déplace vers l'aval. Or, un tri granulométrique s'opère sur les sédiments présents sur le fond, limitant ainsi l'érosion. En effet, un cours d'eau sous alimenté en sédiments venant de l'amont, lutte naturellement contre

l'érosion en lessivant les matériaux fins présents sur le fond pour qu'il ne reste que des matériaux grossiers. Ce phénomène de « pavage » peut contribuer à une stabilisation des fonds mais n'est pas favorable pour une remontée du lit. En effet, les matériaux remobilisables derrière les épis sont plus fins que les matériaux constituant le pavage des fonds et ne peuvent se déposer dans le lit. En l'état actuel, une restauration du lit uniquement basée sur l'apport de matériaux supplémentaires serait donc vaine. La restauration de la Loire doit passer par une réduction de la pente.

Pour ce faire, Philippe Lefort préconise la mise en place d'ouvrages de relèvement des niveaux d'eau. Il indique que, suivant les lois de l'hydraulique, de tels ouvrages ne seront vraiment efficaces que s'ils créent une chute d'eau entre l'amont et l'aval, génératrice d'un ralentissement des courants en amont qui à son tour va provoquer un dépôt de sédiments. Selon lui, les seuils immergés de faible hauteur seront inefficaces à retenir les sédiments car leur taille réduite ne permet pas d'obtenir la chute désirée.

En résumé :

- L'équilibre fragile actuel est dû au sable grossier « pavant » le chenal navigable ;
- Un apport de sable ne s'arrêtera que dans Nantes et en aval ;
- Le blocage des apports en amont de Nantes est la première action à engager : le relèvement doit être de l'ordre du mètre, pour les débits de l'ordre de 1500 m³/s.

Pour le blocage des apports en amont de Nantes, Philippe Lefort propose une intervention structurante à Bellevue sur une longueur de 800 m à 1000 m et constitué de

- Un seuil composite sur le plateau rocheux, pour l'évacuation des crues ;
- Un chenal parallèle équipé de seuils en cascade, ou d'une rampe rugueuse, ou une combinaison des deux, conçu pour créer un relèvement de la ligne d'eau en amont de l'ordre de 80 cm à 1 m, tout en permettant le passage des bateaux et des poissons.

Le site de Bellevue se prête parfaitement à ce type d'intervention, de par sa configuration qui permet de dissiper l'énergie des courants à moindre coût. Suivant l'évolution des fonds qui pourra être observée après sa construction, cet aménagement pourra être complété par d'autres ouvrages implantés plus en amont et visant à apporter des compléments de surélévation de ligne d'eau.

Philippe Lefort décrit ensuite les principales actions de remobilisation des sédiments envisageables sur ce bief:

- Création d'un bras secondaires à travers un banc de sable stabilisé par des épis ; le secteur en amont du Pont de Mauves est cité comme exemple ;
- Action d'élargissement de la section par abaissement et/ou recul des épis de navigation. Un million de m³ sont potentiellement mobilisables. L'opération de remodelage des épis, tel que programmé par VNF entre la Pointe et le Pont de l'Alleud, est tout à fait cohérente avec ce type d'action ;
- Renaturation des berges en favorisant un reméandrage de la Loire
- Modification des chevrettes pour une meilleure alimentation des bras secondaires
- Gestion de la végétation sur les grèves et dans les bras secondaires.

Ces interventions de remobilisation des sédiments devront être adaptées au cas par cas, suivant le contexte local. En d'autres termes, il faudra proportionner l'ambition à la ressource.

En préalable aux études à réaliser pour définir un schéma global de restauration de la Loire en amont de Nantes, Philippe Lefort propose d'établir un bilan sédimentaire pour évaluer la quantité de sable utile disponible. Ce bilan doit permettre de :

- Apprécier les volumes bruts disponibles pour une recharge du chenal : entre épis, dans les bras secondaires, sur les îles, sur berge, apports amont, sable de mer... ;

- Rechercher pour chaque catégorie le taux de sable utile pour l'obtention des volumes nets offrant la composition moyenne du lit, par abattement de la tranche fine ;
- Définir le besoin en sable pour un objectif de relèvement prédéfini ;
- Adapter par itération l'objectif à la ressource si le volume disponible s'avère insuffisant.

Philippe Lefort précise qu'il faudrait à terme un apport de 10 à 20 millions de m³ pour obtenir un relèvement de la ligne d'eau d'1,30m en moyenne sur 80 km. Si l'on ne compte que sur les apports de l'amont (400 000 m³/an bruts, 200 000 m³/an utiles), il faudra 100 ans pour arriver à un apport total de 20 millions de m³ !