Livret 3

ÉTUDE D'IMPACT - PRÉSENTATION DU PROJET

Programme de rééquilibrage du lit de la Loire entre les Ponts-de-Cé et Nantes

DOSSIER D'ENQUÊTE PUBLIQUE

Cette opération est cofinancée par l'Union européenne. L'Europe s'engage sur le bassin de la Loire avec le Fonds Européen de Développement Régional.

Octobre 2020

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES 1

TABLE DES FIGURES 3

TABLE DES TABLEAUX 4

TABLE DE L'ATLAS CARTOGRAPHIQUE (LIVRET 10 – TOME 1) 4

1. HISTORIQUE : LA LOIRE DU 19E SIECLE A AUJOURD'HUI 5

1.1 DES AMENAGEMENTS REALISES ENTRE LE 19E ET LE 20E SIECLE 5
1.2 LES INCIDENCES SUR LE FONCTIONNEMENT DE LA LOIRE 7
1.2.1. UN DESEQUILIBRE LONGITUDINAL 7
1.2.2. UN DESEQUILIBRE LATERAL ENTRE LA LOIRE ET SES ANNEXES FLUVIALES 8
1.3 DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES DEGRADEES ET DES USAGES PERTURBES 9
1.3.1. LES CONSEQUENCES ENVIRONNEMENTALES 9
1.3.2. LES CONSEQUENCES SUR LES USAGES 9

2. PASSER A L'ACTION, UNE NECESSITE 11

2.1 L'HISTORIQUE DE LA CONSTITUTION DU PROGRAMME 11
2.1.1. LE PLAN GLOBAL D'AMENAGEMENT DE LA LOIRE OU « PLAN LOIRE » 11
2.1.2. LES EXPERTISES MENEES 11
2.1.3. LA CREATION D'UN GROUPE DE TRAVAIL ACTEURS-USAGERS 11
2.1.4. L'ETUDE STRATEGIQUE DU GIP LOIRE ESTUAIRE 11
2.2 LA DEFINITION DE LA STRATEGIE D'INTERVENTION 12
2.3 TRAJECTOIRE EVOLUTIVE TENDANCIELLE DE LA LOIRE SANS MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME DE REEQUILIBRAGE 13
2.4 LE CONTRAT POUR LA LOIRE ET SES ANNEXES 2015-2020 14

3. PRESENTATION DU PROJET 16

3.1 LES OBJECTIFS 16
3.2 LES PRINCIPES D'ACTION 16
3.3 PHASE 1 DU PROJET : INTERVENTIONS SUR LES SECTEURS A, B ET C 19
3.3.1. SECTEUR A : ENTRE MONTJEAN-SUR-LOIRE ET INGRANDES-LE-FRESNE-SUR-LOIRE 19
3.3.2. SECTEUR B : ENTRE ANETZ ET OUDON 21
3.3.3. SECTEUR C : À BELLEVUE, COMMUNES DE SAINTE-LUCE-SUR-LOIRE, THOUARE-SUR-LOIRE ET SAINT-JULIEN-DE-CONCELLES 24
3.4 COUT DES TRAVAUX 25
3.5 PHASE 2 DU PROJET : DES INTERVENTIONS COMPLEMENTAIRES SUR 4 SECTEURS 25
3.6 LES EFFETS ATTENDUS : TRAJECTOIRE EVOLUTIVE DE LA LOIRE AVEC MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME DE REEQUILIBRAGE DU LIT 26
3.6.1. REEQUILIBRAGE LONGITUDINAL 26
3.6.2. REEQUILIBRAGE LATERAL 26
3.6.3. EVOLUTION DES ECOSYSTEMES 27

4. JUSTIFICATION DU PROJET RETENU 30

4.1 HISTORIQUE DES ETUDES MENEES 30
4.1.1. ETUDE DE FAISABILITE DE LA REMONTEE DE LA LIGNE D'EAU ENTRE NANTES ET LA MAINE (SOGREAH 1992). 30
4.1.2. MODELISATION PROSPECTIVE DE LA LOIRE ESTUARIENNE (BCEOM/DHI 2000) 30
4.1.3. ETUDE DE MODELISATION HYDROSEDIMENTAIRE (DHI 2007) 30
4.1.4. MISE EN PLACE EN 2008-2009 PAR LE GIPLE, DU GROUPE DE TRAVAIL « ACTEURS-USAGERS » POUR LA REDEFINITION D'UN CADRE D'OBJECTIF ET D'INTERVENTION POUR LA RECONQUETE DU FLEUVE 30
4.1.5. ANALYSE DES EVOLUTIONS MORPHOLOGIQUES DE LA LOIRE ET PROPOSITION DE PISTES D'INTERVENTION (PHILIPPE LEFORT 2009) 30
4.2 L'ETUDE STRATEGIQUE – LES PROGRAMMES D'ACTIONS ALTERNATIFS ETUDIES 31
4.2.1. ETAPE 1 DE L'ETUDE : SCENARIO TENDANCIEL ET INTERVENTIONS ENVISAGEABLES 31
4.2.2. ETAPE 2 DE L'ETUDE : DECLINAISON DU SCENARIO RETENU EN UN PROGRAMME D'ACTIONS OPERATIONNEL 32
4.2.3. CONTENU DU PROGRAMME GLOBAL DE TRAVAUX RETENUS 32
4.3 CONFORTEMENT DES CHOIX OPERES : LES RETOURS D'EXPERIENCE 33
4.3.1. SEUILS EXPERIMENTAUX DU FRESNE-SUR-LOIRE ET D'INGRANDES 33
4.3.2. OPERATION EXPERIMENTALE DE REMODELAGE DES EPIS ENTRE LA POINTE ET CHALONNES-SUR-LOIRE 35
4.3.3. DEVEGETALISATION DES BRAS 35
4.3.4. SYNTHESE DES DIFFERENTES OPERATIONS EXPERIMENTALES 35

5. CARACTERISTIQUES DETAILLEES DU PROJET SUR LES SECTEURS A ET B ET JUSTIFICATION DES VARIANTES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT 37

5.1 OBJECTIFS GENERAUX DU REMODELAGE D'EPIS 37
5.2 SECTEUR A : VARIANTES ETUDIEES ET DESCRIPTION DES TRAVAUX RETENUS 37
5.2.1. EMPRISE DES TRAVAUX ETUDIES 37
5.2.2. SCENARIOS ETUDIES ET JUSTIFICATION DU CHOIX 37
5.2.3. CARACTERISTIQUES DU SCENARIO RETENU 38
5.2.4. ACCES ET EMPRISES 40
5.2.5. ESTIMATION DES TYPES, DES QUANTITES DE RESIDUS ET DES EMISSIONS ATTENDUES 41
5.3 SECTEUR B : VARIANTES ETUDIEES ET DESCRIPTION DES TRAVAUX RETENUS 41
5.3.1. EMPRISE DES TRAVAUX ETUDIEE 41
5.3.2. SOLUTIONS ETUDIEES ET JUSTIFICATION DU CHOIX 41
5.3.3. CARACTERISTIQUES DU SCENARIO RETENU 45
5.3.4. ACCES AUX DIFFERENTES ZONES DE CHANTIER 55
5.3.5. ESTIMATION DES TYPES, DES QUANTITES DE RESIDUS ET DES EMISSIONS ATTENDUES 57
5.4 PRINCIPES GENERAUX D'INTERVENTIONS ET MODALITES ENVISAGEABLES POUR L'EXECUTION DES TRAVAUX SUR LES EPIS 57

5.4.1. MODALITES SPECIFIQUES EN ACCES TERRESTRE 59
5.4.2. MODALITES SPECIFIQUES EN ACCES FLUVIAL 60
5.4.3. ACCES, ZONES DE STOCKAGE ET CIRCULATIONS D'ENGINS 60

6. CARACTERISTIQUES DETAILLEES DU PROJET SUR LE SECTEUR C ET JUSTIFICATION DES VARIANTES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT 62

6.1 OBJECTIFS GENERAUX DE L'AMENAGEMENT DE BELLEVUE 62
6.2 SECTEUR C : VARIANTES ETUDIEES ET DESCRIPTION DES TRAVAUX RETENUS 62
6.2.1. CHOIX DU SECTEUR DE BELLEVUE 62
6.2.2. OPPORTUNITE D'ELARGISSEMENT DU LIT 62
6.2.3. JUSTIFICATION DE LA LOCALISATION DE L'AMENAGEMENT 62
6.2.4. VARIANTES ETUDIEES ET JUSTIFICATION DE LA SOLUTION RETENUE 63
6.3 PRESENTATION DETAILLEE DU PROJET RETENU ET MODALITES D'INTERVENTIONS 76
6.3.1. CONCEPTION DU DUIS TRANSVERSAL ET DES OUVRAGES ATTENANTS 76

7. MOYENS DE SURVEILLANCE, D'INTERVENTION EN CAS D'INCIDENT ET D'ACCIDENT, DE MAINTENANCE 85

7.1 MODALITE DE SURVEILLANCE DES OUVRAGES 85
7.2 PROGRAMME DE MAINTENANCE DES OUVRAGES 86

8. MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME 87

8.1 FINANCEMENT 87
8.2 CALENDRIER PREVISIONNEL 87
8.3 SUIVI DES ETUDES ET VALIDATION DES CHOIX TECHNIQUES 87

ANNEXE 1 – PRESENTATION DU CONTRAT POUR LA LOIRE ET SES ANNEXES (CLA) 88

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Banc d'épis à proximité d'Anetz (source GIP Loire Estuaire) 5
Figure 2 : Les aménagements du lit de la Loire pour la navigation entre le 19ème et 20ème siècle (source GIP LOIRE ESTUAIRE) 6
Figure 3 : La Loire avant et après intervention humaine (source VNF) 7
Figure 4 : Evolution de la pente de la Loire et déséquilibre longitudinal (source VNF) 7
Figure 5 : Débit nécessaire pour atteindre le 0 de l'échelle de Montjean-sur-Loire (source : GIP Loire Estuaire) 7
Figure 6 : Incision du lit et déconnexion des annexes fluviales – à droite : secteur de Saint Florent-le-Vieil (source GIP LOIRE ESTUAIRE – crédit photo GERPHO) 8
Figure 7 : Déconnexion des annexes qui se retrouvent perchées et déconnectées du lit principal (source GIP LOIRE ESTUAIRE) 8
Figure 8 : Sterne Pierregarin, nicheur des grèves et îlots de Loire 9
Figure 9 : Angélique des estuaires 9
Figure 10 : Remontée de la marée et lignes d'eau d'étiage (source VNF) 9
Figure 11 : Les plans Loire successifs et l'élaboration du contrat pour la Loire et ses annexes (source VNF) 12
Figure 12 : Le contrat pour la Loire et ses annexes 15
Figure 13 : Principes de remodelage d'un épi (source : dossier de concertation) 16
Figure 14 : Le principe du rééquilibrage longitudinal de la Loire (source : dossier de concertation) 16
Figure 15 : Localisation des secteurs d'interventions du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (phase 1 et phase 2) .. 18
Figure 16 : Les épis remodelés sur le secteur A entre Montjean-sur-Loire et Ingrandes (source : ISL) 20
Figure 17 : Les épis à remodeler entre Anetz et Ancenis (source : Artélia) 22
Figure 18 : Les épis à remodeler entre Ancenis et Oudon (source : Artelia) 23
Figure 19 : Schéma de l'évolution de la marée basse et de la marée haute, avec et sans projet, à 50 ans 24
Figure 20 : Présentation de la solution retenue (secteur C) 25
Figure 21 : Situation actuelle du bras de l'île Neuve-Macrière (en 2017) 26
Figure 22 : Situation projetée du bras de l'île Neuve-Macrière (après travaux) 26
Figure 23 : Illustration d'un chenal corseté (état actuel) vis-à-vis d'un chenal mobile (état naturel) 27
Figure 24 : Synthèse des évolutions à terme sur le milieu physique, avec et sans projet de rééquilibrage 28
Figure 25 : Synthèse des évolutions à terme sur le milieu biologique, avec et sans projet de rééquilibrage 29
Figure 26 : Localisation des seuils du Fresne (source GIP LOIRE ESTUAIRE) 33
Figure 27 : Les seuils à échancrures du Fresne (source GIP Loire Estuaire) 33
Figure 28 : Contenu du suivi expérimental pour les seuils du Fresne (source GIP LOIRE ESTUAIRE) 34
Figure 29 : Evolution du bras de Cul-de-Bœuf suite à la mise en place des seuils expérimentaux (source : géoportail) 34
Figure 30 : Différence de la surface de miroir d'eau à l'étiage (source : étude ISL, GIP LOIRE ESTUAIRE 2018) 35
Figure 31 : Emprise des travaux sur le secteur A, scénario retenu B3 (source : AVANT PROJET ISL) 39
Figure 32 : Configuration actuelle et future des ouvrages à l'entrée du Bras de Neuve-Macrière, secteur B (source Artelia) ... 42
Figure 33 : Configuration actuelle et future (illustration configuration 8) des ouvrages à la sortie du bras de Neuve-Macrière, secteur B (source Artélia) 43
Figure 34 : Carte de l'état actuel des épis présents sur le secteur de l'île Perdue 44
Figure 35 : Carte des travaux prévus sur le secteur de l'île Perdue 45
Figure 36 : Principes d'abaissement et de raccourcissement (source AVP ARTELIA) 46
Figure 37 : Plan d'organisation des travaux du secteur B entre Oudon et Ancenis 48
Figure 38 : Plan d'organisation des travaux du secteur B entre Ancenis et Anetz 50
Figure 39 : Types d'épi rencontrés sur le secteur A (source : AVP, ISL, novembre 2017). A gauche, un épi constitué d'un noyau de tout venant et d'une carapace en enrochement. A droite, un épi tout en enrochements. 57
Figure 40 : Travaux de remodelage des épis lors de l'expérimentation entre Bouchemaine et Chalonnes en 2008 - voie terrestre (Source VNF) 59
Figure 41 : Travaux de remodelage d'un épis lors de l'expérimentation entre Bouchemaine et Chalones en 2008 – voie fluviale (Source VNF) 60
Figure 42 : Famille de solution A et ses 2 variantes A1 et A2, contraction latérale par système d'épis ou tenons avec chenal rive gauche et seuils fluviaux dans le chenal (source EP EGIS/CNR) 65
Figure 43 : Famille de solution B, contraction latérale par créations d'îlots avec chenal en rive gauche (source EP EGIS/CNR) 65
Figure 44 : Famille de solution C, contraction latérale par épis ou îlots avec chenal en rive droite (source EP EGIS/CNR) 65
Figure 45 : Famille de solutions D : macrorugosités de fonds et îlots - chenaux multiples 65
Figure 46 : Analyse des scénarios d'aménagement sur le secteur de Bellevue 67
Figure 47 : Variante A (source dossier de concertation) 68
Figure 48 : Variante B (source dossier de concertation) 69
Figure 49 : Variante de solution C (source dossier de concertation) 69
Figure 50 : Variante D (source dossier de concertation) 70
Figure 51 : Performances hydrauliques (perte de charge) des variantes étudiées au stade préalable (source CNR) 70
Figure 52 : Vue en plan du projet global sur le secteur C (source EGIS/CNR) 77
Figure 53 : Vue en plan du duis transversal 78
Figure 54 : Coupe transversale du duis principal en enrochements (Source EGIS/CNR) 79
Figure 55 : Vue en plan de la zone optimisée pour la franchissabilité piscicole 81
Figure 56 : Profil en travers de la future protection de berges en rive droite 82
Figure 57 : Parcelles destinées à l'implantation de l'aire de stockage « tampon » à proximité de la zone de chargement 83
Figure 58 : Chenal à modeler pour permettre la circulation des engins depuis le quai 83
Figure 59 : Convoi en transfert - Ecluse de Saint-Maurice (94) 83
Figure 60 : Financeurs du programme (source VNF) 87
Figure 61 : Schémas du déséquilibre longitudinal et du déséquilibre latéral de la Loire avant et après l'intervention humaine 89
Figure 62 : Annexes fluviales de la Loire (source GIP LOIRE ESTUAIRE) 90
Figure 63 : Exemple d'ouvrage transversal dans un bras (gauche) et développement de la Jussie (droite) (source CEN) 90
Figure 64 : Schéma d'une boire aux habitats diversifiés, déconnectée du lit principal pour des débits d'étiage avec des habitats boisements alluviaux à l'amont, des berges vaseuses, de la mégaphobiaie et des milieux prairiaux. (source CEN) 91

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des retours d'expérience réalisés par VNF 36
Tableau 2 : Synthèse de l'analyse des variantes d'aménagement du secteur A 38
Tableau 3 : Actions sur les épis par banc secteur A (source : AVP ISL) 40
Tableau 4 : Volumes de matériaux à évacuer sur le secteur A (source AVP ISL) 41
Tableau 5 : Simulations successives effectuées pour la définition de la solution (AVP Artelia) 41
Tableau 6 : Largeur de chenal par secteur en états actuel et projet (extrait AVP Artelia) 46
Tableau 7 : Détail des interventions sur les épis des groupes d'épis 0 à 9 (source : Artélia) 49
Tableau 8 : Détail des interventions sur les épis des groupes d'épis 10 à 20 (source : Artélia) 51
Tableau 9 : Détail des accès à chaque groupe d'épis (source : Artélia) 55
Tableau 10 : Volumes d'extraction et d'évacuation des matériaux (extrait AVP Artelia) 57
Tableau 11 : Description des travaux de remodelage en fonction de la nature des épis (source : AVP ISL et Artelia) 58
Tableau 12 : Analyse des configurations de positionnement et d'étendue de l'ouvrage 63
Tableau 13 : Liste des 4 familles de solutions étudiées en phase préalable (Source : AVP EGIS/CNR) 64
Tableau 14 : Comparaison des variantes B et C avant choix-final d'aménagement – Stade APS 72

TABLE DE L'ATLAS CARTOGRAPHIQUE (LIVRET 10 – TOME 1)

Cartes 1 : Localisation des secteurs d'intervention inscrits au CLA
Cartes 2 : Etat des lieux du bras principal et des annexes fluviales (bras secondaires et boires) entre les Ponts-de-Cé et Nantes
Cartes 3 : Actions de restauration prévues à ce jour sur le bras principal et les annexes fluviales (bras secondaires et boires) entre les Ponts-de-Cé et Nantes
Cartes 4 : Localisation des travaux prévus par aire d'étude rapprochée

1. Historique : la Loire du 19e siècle à aujourd'hui

La Loire prend sa source sur le versant sud du Mont Gerbier de Jonc à 1404 mètres d'altitude, au sud-est du Massif Central. Elle s'écoule jusqu'à l'océan Atlantique en drainant un bassin versant d'environ 117 000 kilomètres carrés, soit 20 % de la superficie de la France métropolitaine. Entre Les Ponts-de-Cé et Nantes, la Loire s'écoule sur 90 kilomètres. Bien que la Loire soit souvent présentée comme « le dernier fleuve sauvage d'Europe », elle a fait l'objet de nombreuses interventions humaines pour exploiter ses ressources (poissons, eau, sable, etc.), protéger les riverains de ses crues et faciliter la navigation.

1.1 Des aménagements réalisés entre le 19e et le 20e siècle

A la fin du 19e siècle, l'ambition est apparue de transformer la Loire en une grande voie navigable entre la façade atlantique et l'intérieur des terres. Les conditions de navigation sur la Loire n'étant pas bonnes (nombreux bancs de sable, chenal mouvant, irrégularité des fonds, etc.), d'importants aménagements ont été jugés nécessaires pour permettre la création d'un chenal de navigation profond et régulier, autorisant le passage d'embarcations avec un plus grand tirant d'eau tout au long de l'année.

Des travaux ont été lancés au début du 20ème siècle avec la création d'un bassin de marée de Oudon à Nantes et les premiers épis, duis et chevrettes entre Bouchemaine et Montjean-sur-Loire.

Ces ouvrages en enrochements placés perpendiculairement ou parallèlement au fleuve, ou barrant l'entrée des bras secondaires, devaient permettre de concentrer l'écoulement de l'eau dans un chenal unique.

Les travaux se sont poursuivis vers l'aval, jusqu'à Oudon, puis jusqu'à Nantes. Jusqu'au milieu du siècle dernier, la Loire a ainsi été progressivement chenalisée au moyen des quelques 750 épis construits entre les Ponts-de-Cé et Nantes.

Pourtant, la navigation sur la Loire a continué de décliner de par la concurrence croissante du train puis de la route.

Au cours de la seconde moitié du 20ème siècle, plusieurs autres actions ont été menées :

- Approfondissement du bassin de marée de Oudon à Nantes, par dragage des sables et suppression d'épis à Bellevue, pour favoriser la remontée des navires maritimes jusqu'à Nantes ;
- Extraction massive du sable de la Loire, pour la fabrication du béton et pour l'agriculture afin de désacidifier les sols. Les volumes extraits en Maine-et-Loire et en Loire-Atlantique, près de 5 millions de tonnes par an dans les années 1970, dépassaient largement les apports naturels du fleuve ;
- Destruction partielle ou totale de plusieurs seuils naturels rocheux, opérations dites de déroctage, à Bellevue, Oudon, Chalonnes et Saint-Florent-le-Vieil, notamment, afin de faciliter le passage des navires ;

Plus en aval, entre Nantes et Saint-Nazaire, la Loire a également fait l'objet d'interventions : des dragages d'approfondissement, des remblaiements, des endiguements et des comblements de bras secondaires ont été réalisés tout au long du 20ème siècle.

Ces interventions humaines ont permis de faciliter la navigation mais ont eu pour conséquence de favoriser la propagation de la marée vers l'amont et de déséquilibrer le fonctionnement hydrosédimentaire et écologique de la Loire.

Figure 1 : Banc d'épis à proximité d'Anetz (source GIP Loire Estuaire)

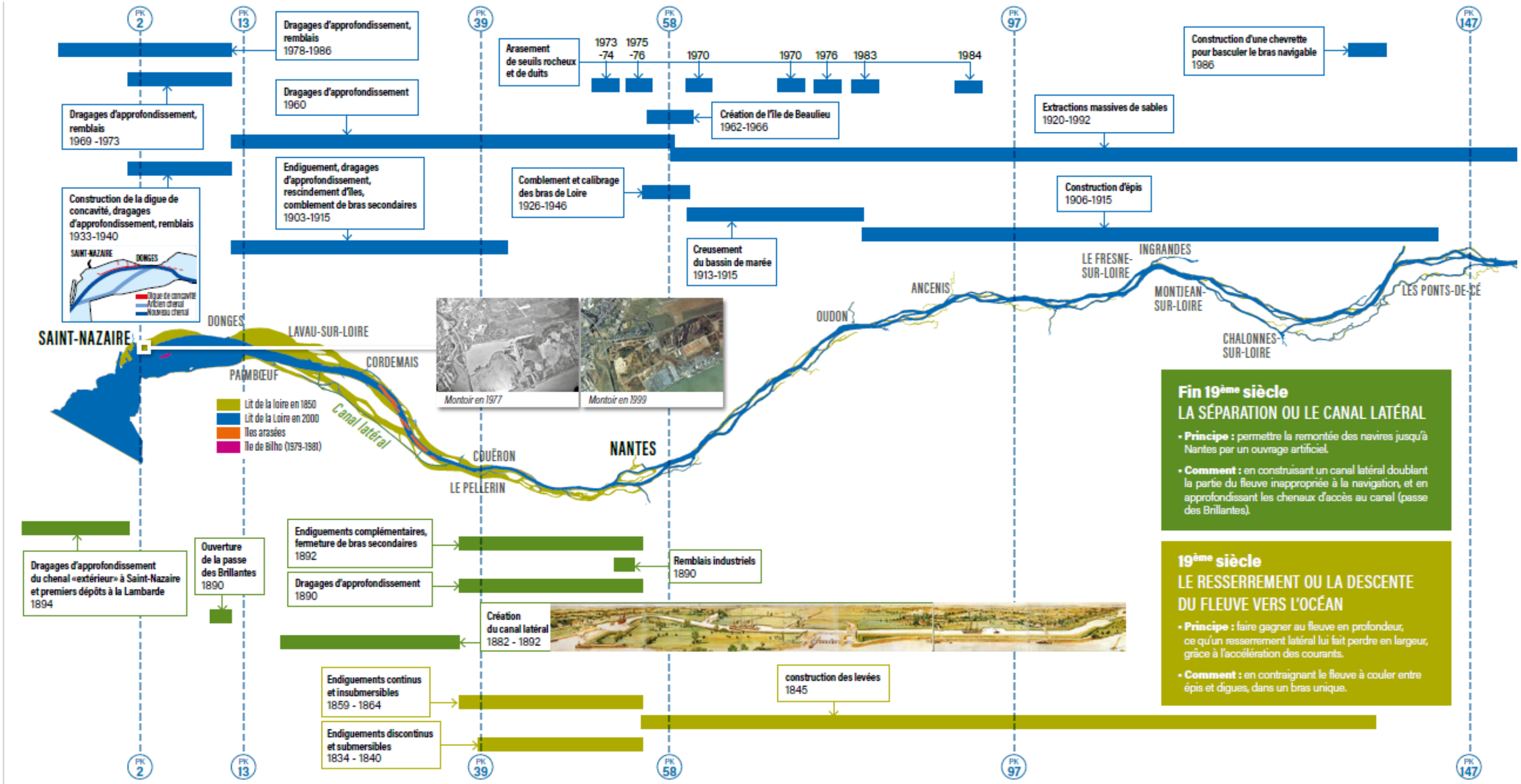


Figure 2 : Les aménagements du lit de la Loire pour la navigation entre le 19ème et 20ème siècle (source GIP LOIRE ESTUAIRE)

1.2 Les incidences sur le fonctionnement de la Loire

1.2.1. Un déséquilibre longitudinal

Au cours du 20ème siècle, un fort abaissement du niveau d'eau pendant l'étiage (période où le débit de la Loire est le plus faible) a été constaté entre les Ponts-de-Cé et Nantes. Les extractions de sables et les aménagements du 20ème siècle, piégeant les sédiments, ont en effet conduit à un déficit sédimentaire : les quantités de sédiments arrivant de l'amont étaient inférieures à la capacité de transport du fleuve. Ce déséquilibre a conduit à un phénomène d'érosion progressive du lit, et donc à son enfoncement. C'est ce que l'on nomme incision.

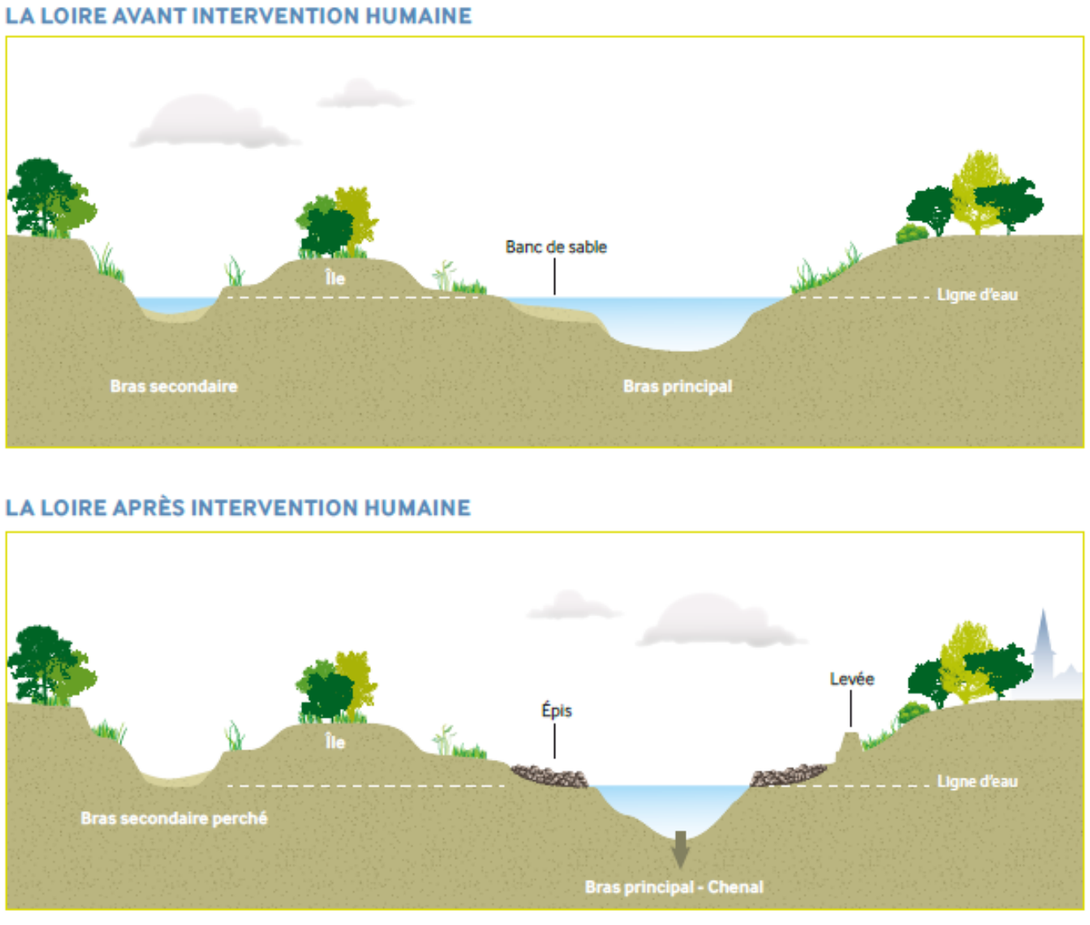


Figure 3 : La Loire avant et après intervention humaine (source VNF)

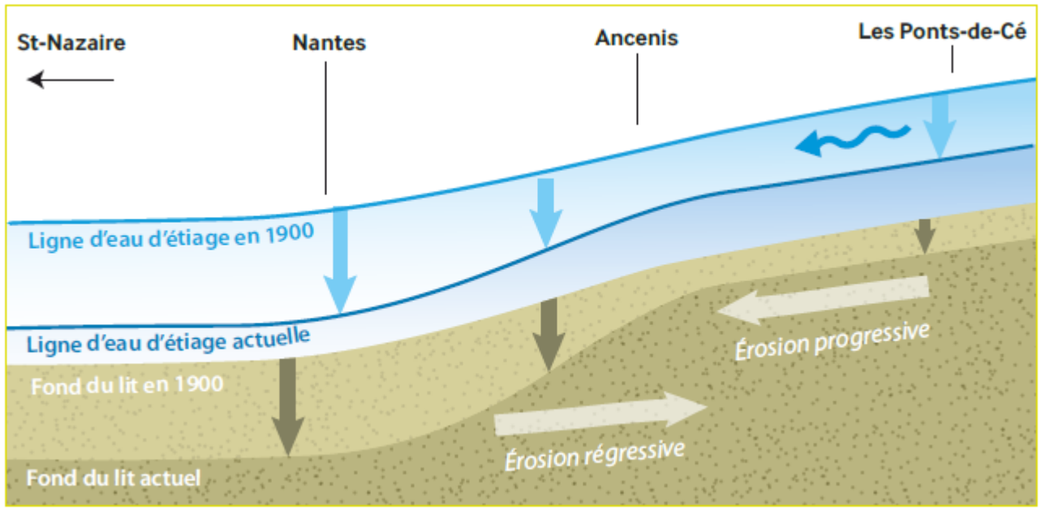


Figure 4 : Evolution de la pente de la Loire et déséquilibre longitudinal (source VNF)

L'augmentation de la pente de la ligne d'eau, de 15cm/km à 17,6 cm/km en un siècle, a en outre conduit à une érosion régressive du lit de la Loire, qui s'est propagée dans le sens inverse de l'écoulement de l'eau. Le secteur entre Ancenis et Oudon a été particulièrement concerné.

La Loire a donc subi deux phénomènes d'érosion, progressive et régressive, qui se sont alimentés mutuellement, influençant la pente du fleuve. Ce phénomène est observé sur une grande partie du fleuve, mais a été particulièrement intense entre les Ponts-de-Cé et Nantes.

Tout au long du 20ème siècle, le débit nécessaire pour atteindre le niveau « 0 » de l'échelle de Montjean-sur-Loire n'a cessé d'augmenter. D'abord lentement, de 1900 à 1970 puis plus rapidement de 1970 à 2000.

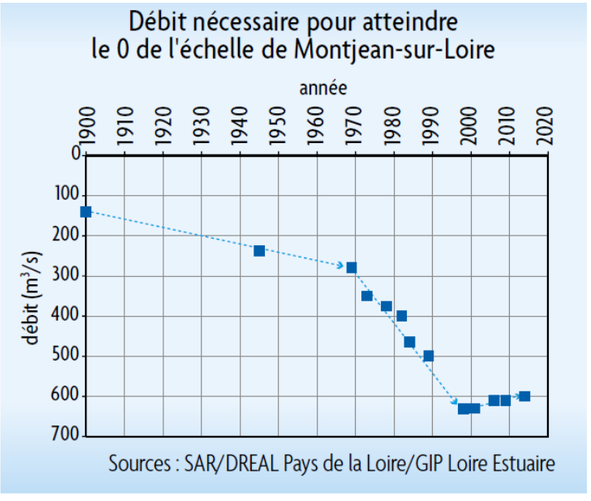


Figure 5 : Débit nécessaire pour atteindre le 0 de l'échelle de Montjean-sur-Loire (source : GIP Loire Estuaire)

Depuis quelques années, une tendance à la stabilisation voire à une légère rehausse du lit de la Loire est observée. Par exemple, à Saint-Florent-le-Vieil, la ligne d'eau s'est affaissée d'1,75m entre 1970 et 1998, alors que l'abaissement constaté entre 1998 et 2011 était de 10 cm. Ailleurs, on a pu observer une

rehausse du niveau d'eau depuis les années 2000, avec par exemple une rehausse de 30 centimètres du niveau d'eau à Ingrandes entre 1998 et 2006.

Il est probable que ces observations expriment le bénéfice de l'arrêt des extractions de sable dans le lit mineur ainsi que celui des effets locaux des travaux visant au relèvement de la ligne d'eau d'étiage. Ces premiers résultats sont encourageants pour poursuivre dans la voie du rééquilibrage du fleuve. La modélisation de la tendance d'évolution du fleuve dans le futur a montré que l'incision du lit pourrait se poursuivre sur certains secteurs si les matériaux provenant de l'amont étaient insuffisants ou se stabiliser si les apports sédimentaires étaient suffisants pour « nourrir » le fleuve. Un programme de recherche est en cours pour évaluer la quantité de ces apports.

1.2.2. Un déséquilibre latéral entre la Loire et ses annexes fluviales

Les annexes fluviales - ou annexes hydrauliques - constituent des milieux aquatiques et zones humides situées à proximité de la Loire. Elles peuvent prendre plusieurs formes : marais, prairies inondables, boires (bras plus ou moins déconnectés du bras principal), bras secondaires, etc.

L'incision du lit principal a conduit à un profond déséquilibre entre le niveau de fond de ce dernier par rapport à celui des bras secondaires et annexes fluviales. Ces milieux se sont trouvés perchés, de moins en moins souvent alimentés, et sont aujourd'hui asséchés sur des périodes plus longues que par le passé.

Par exemple, le bras du Bernardeau, situé à l'amont d'Ancenis au Nord des îles du Bernardeau, de Boire Rousse et de Kerguelen entre les pk 93 et 96, se retrouve perché à plus de 4 mètres par rapport au bras principal. De même, sept bras secondaires situés entre Oudon et Nantes sont potentiellement déconnectés du bras principal plus des trois quarts de l'année à marée basse. Certaines annexes ne sont en eau que lors des crues. **La Loire connaît un déséquilibre latéral.**

Le graphique ci-contre montre d'une part la baisse de la ligne d'eau d'étiage entre 1900 et 2000 sur le bief les Ponts-de-Cé – Nantes et d'autre part la différence de niveau actuel entre les bras secondaires et le bras principal. Celle-ci est comprise entre 2 et 3 m selon les secteurs. Par conséquent la figure illustre l'une des conséquences directes de l'abaissement de la ligne d'eau d'étiage : la déconnexion plus fréquente des annexes hydrauliques qui se retrouvent perchées par rapport au lit principal. Des impacts négatifs sur certaines fonctionnalités écologiques et certains usages en découlent.

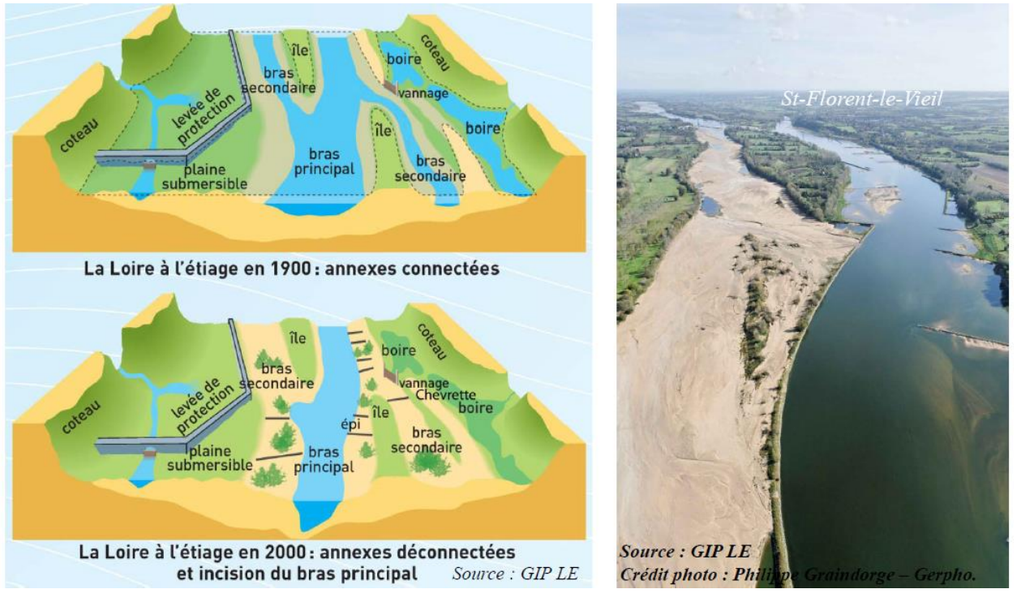


Figure 6 : Incision du lit et déconnexion des annexes fluviales – à droite : secteur de Saint Florent-le-Vieil (source GIP LOIRE ESTUAIRE – crédit photo GERPHO)

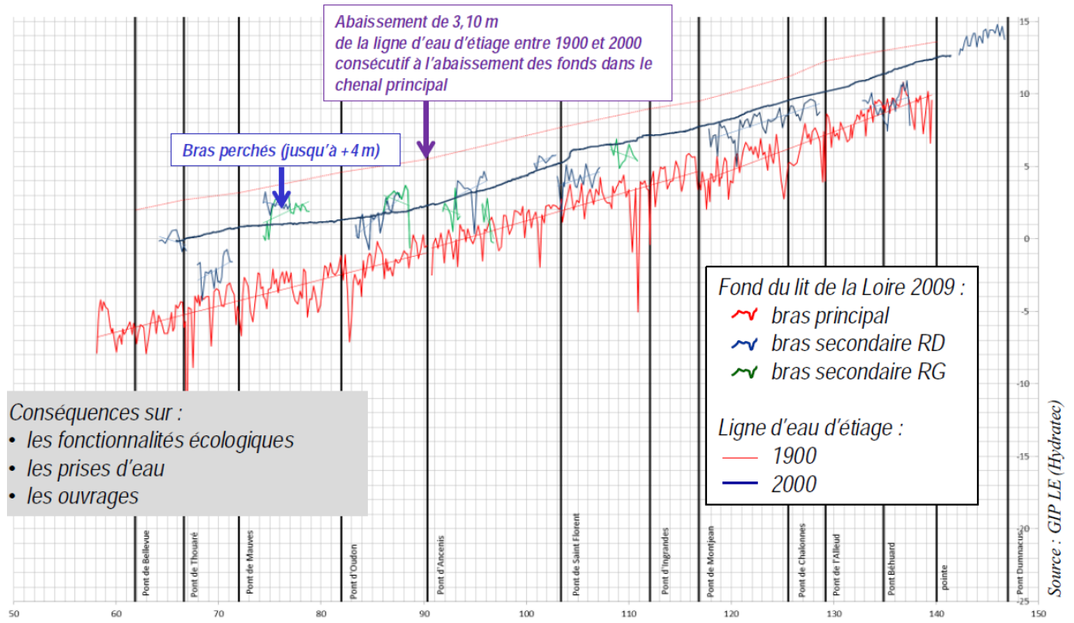


Figure 7 : Déconnexion des annexes qui se retrouvent perchées et déconnectées du lit principal (source GIP LOIRE ESTUAIRE)

1.3 Des conditions environnementales dégradées et des usages perturbés

1.3.1. Les conséquences environnementales

La diversité des milieux et les fonctions écologiques de la Loire font sa richesse biologique. La Loire est composée d'une mosaïque d'habitats liée à l'eau qui permet à de nombreuses espèces animales et végétales, parfois rares, de se développer.

Les fonctions écologiques sont multiples : axe de migration, lieux de reproduction, zones refuges pendant les crues, zones de repos migratoire, aires de nourrissage, etc. La réduction de l'espace de mobilité de la Loire, figée par les épis et l'enfoncement de son lit, entraîne la perte de sa capacité d'accueil pour les oiseaux nicheurs qui affectionnent la présence d'îlots exondés qui leur assure une protection contre les prédateurs terrestres.

Figure 8 : Sterne Pierregarin, nicheur des grèves et îlots de Loire

Une espèce protégée emblématique, l'Angélique des estuaires, a vu son aire de répartition déplacée de plusieurs kilomètres vers l'amont.

Figure 9 : Angélique des estuaires

D'autres espèces dépendantes des fluctuations de niveaux d'eau ont abandonné certains espaces. Certaines espèces ont presque disparu comme la Marsillée à quatre feuilles.

La fermeture progressive de certains bras secondaires et autres annexes fluviales entraîne une baisse de la diversité des milieux aquatiques (disparition de berges exondées à végétations rares, de mégaphorbiaies…). Certaines fonctions sont altérées (reproduction, nourrissage, …). Les prairies inondables sont moins accueillantes pour le cycle de vie du brochet, du fait de périodes d'inondations plus réduites et de leur déconnexion des cours d'eau.

Enfin, les milieux humides, moins dynamiques, sont aussi plus fragiles et moins résistants face à l'arrivée d'espèces exotiques envahissantes telles que les Jussies, la Renouée du Japon, l'Aster à feuilles lancéolées, etc.

1.3.2. Les conséquences sur les usages

Au cours du 20ème siècle, l'onde de marée a progressé vers l'amont au-delà d'Ancenis, entraînant dans sa remontée, un peu de sel de l'océan, jusqu'à Thouaré-sur-Loire.

Pour sécuriser l'accès à l'eau potable face à la remontée du front de salinité, l'agglomération nantaise a déplacé la prise d'eau d'une dizaine de kilomètres à l'amont. Tous les prélèvements peuvent être contraints du fait de l'abaissement de la ligne d'eau et le rabattement du niveau de la nappe phréatique.

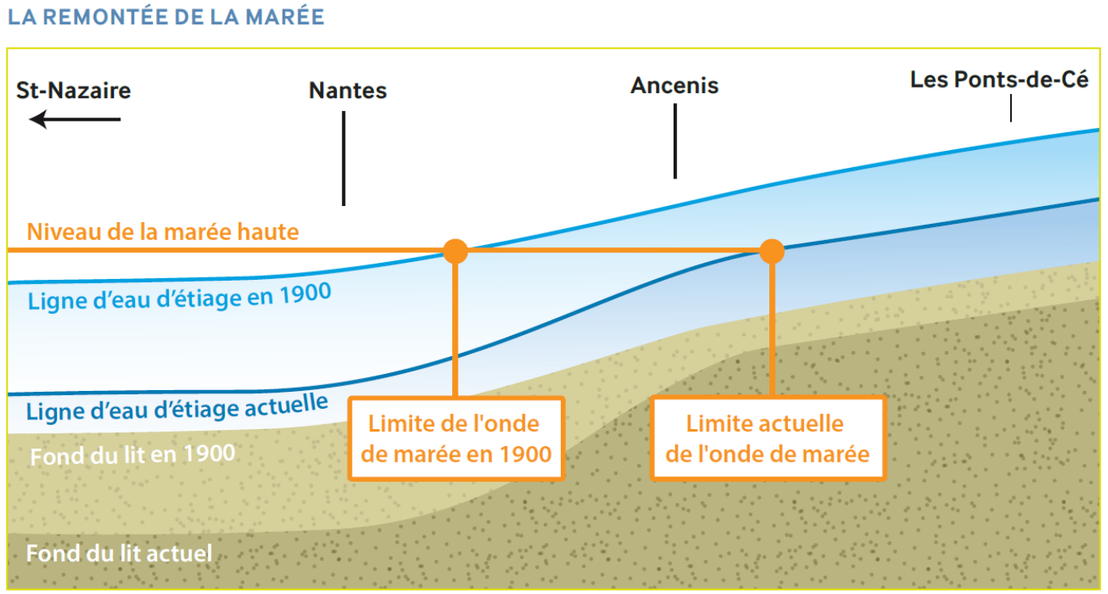


Figure 10 : Remontée de la marée et lignes d'eau d'étiage (source VNF)

La capacité d'épuration naturelle des eaux et la capacité d'écoulement des crues sont amoindries du fait de la végétalisation des bras et de la réduction des zones humides.

Les prairies bordant la Loire sont moins souvent inondées et perdent ainsi en qualité fourragère. L'altération de leur fonctionnalité de frayère impacte les activités de pêche.

L’incision accroit les phénomènes d’érosion des berges et du lit, ce qui peut impacter certaines infrastructures comme les ponts, les digues, etc.

Le paysage ligérien s’est transformé avec des épis qui restent apparents une grande partie de l’année et la fermeture du paysage lié à la végétalisation des annexes. Les vues et accès au plan d’eau à l’étiage ont tendance à se réduire.

La Loire a subi depuis 1900 un abaissement de près de 4 m de sa ligne d'eau d'étiage dans le secteur de Nantes, d'environ 3 m dans le secteur d'Ancenis et de presque 1 m aux Ponts-de-Cé. Cet abaissement a entraîné de profonds déséquilibres dans le fonctionnement morphologique du fleuve. Un déséquilibre longitudinal et latéral sont ainsi observés.

Ces déséquilibres perturbent le fonctionnement écologique du fleuve et les activités humaines.

2. Passer à l'action, une nécessité

Dès les années 1990, une prise de conscience générale émerge sur la nécessité d'agir : les extractions de sables sont interdites et des solutions sont recherchées par les acteurs du territoire pour tenter de réduire le déséquilibre de la Loire.

2.1 L'historique de la constitution du programme

2.1.1. Le plan global d'aménagement de la Loire ou « Plan Loire »

Le 4 janvier 1994, le Gouvernement a décidé d'un plan global d'aménagement de la Loire à 10 ans. Ce plan visait à concilier la sécurité des personnes, la protection de l'environnement et le développement économique. Pour la Loire aval, il a été donné comme objectif prioritaire de relever la ligne d'eau d'étiage pour la restauration de l'équilibre fluvial et la satisfaction des usages.

Le Plan Loire I (1994-2000) a été conçu pour répondre à différentes conceptions d'aménagement du fleuve. Il s'agissait d'engager des actions partenariales qui associeraient l'État, les collectivités et les associations de protection de l'environnement pour remettre l'aménagement durable du fleuve et de ses vals inondables au cœur des priorités politiques. Dans le cadre de ce premier Plan Loire, plusieurs travaux de dévégétalisation (suppression de la végétation ligneuse et arbustive) et de recreusement de rigolets pour restaurer les écoulements et favoriser la diversité des faciès furent conduits par VNF entre Oudon et Nantes.

Le Plan Loire II (2000-2006) a permis de prendre en compte les évolutions survenues en matière de gestion de l'eau, de politique agricole et d'aménagement du territoire. Dans le cadre de ce plan, de nouvelles actions sont entreprises par VNF pour le relèvement de la ligne d'eau d'étiage.

Des seuils expérimentaux (boudins en géotextile) ont ainsi été installés en 2002 au Fresnes-sur-Loire, dans le but de relever le niveau d'eau à l'étiage. Cette action a conduit à un relèvement de 50 centimètres du niveau d'eau en amont des seuils, perceptible sur une longueur de 5 kilomètres, et à une meilleure alimentation en eau du bras de Cul-de-Bœuf.

En parallèle plusieurs projets de dévégétalisation et de réouverture de bras ont été menés (boire Chapoin, boire de Gohier, boire Torse par exemple). Dans le cadre du Plan Loire III (2007-2013), VNF a porté en 2009 une expérimentation de remodelage des épis (abaissement et réduction des ouvrages) entre Bouchemaine et Chalonnes qui a conduit à un relèvement du niveau d'eau en étiage de 20 à 30 centimètres, sans affecter les usages et à une meilleure alimentation en eau de la boire de la Ciretterie.

La transformation des épis est alors apparue comme une solution satisfaisante pour remobiliser des sédiments piégés dans ces aménagements. Et les projets de restauration d'annexes fluviales se poursuivent avec des travaux menés notamment sur le Louet et sur la boire du Passage.

À la suite des deux premiers Plans Loire, des expérimentations et de nombreuses études menées, plusieurs acteurs ont exprimé le besoin de développer une vision stratégique plus globale de restauration du lit de la Loire afin de coordonner leurs interventions.

2.1.2. Les expertises menées

En 2008/2009, une **expertise hydrosédimentaire a été menée par Philippe LEFORT, expert en hydraulique fluviale**. Elle a permis en plusieurs temps de :

- Comprendre les transformations du siècle passé et les évolutions hydro-morphologiques qui en ont résulté ;
- Diagnostiquer les évolutions prévisibles en l'absence de toute action ;
- Pré-définir des principes d'actions envisageables.

2.1.3. La création d'un groupe de travail acteurs-usagers

En parallèle, un **groupe de travail acteurs-usagers** a été créé afin de définir un cadre d'objectifs et d'interventions pour la restauration de la Loire. Cette étude s'est articulée autour de réunions de travail entre novembre 2008 et mai 2009.

Elle a permis de dégager des actions de restauration du bief mais également de définir des fonctions à assurer pour le futur programme : fonctions écologiques, continuité transversale, navigation, évacuation des crues et attrait paysager des rives.

2.1.4. L'étude stratégique du GIP Loire Estuaire

Fort de ces éléments, le GIP Loire-Estuaire a été mandaté en 2011 pour piloter une étude stratégique d'ensemble sur l'évolution de la Loire et sur les interventions envisageables, en s'appuyant sur les expériences passées et études déjà menées. Le Groupement d'Intérêt Public (GIP) Loire Estuaire, créé en 2004, rassemble les différents acteurs de la Loire, de la Maine à la mer : Etat, collectivités, établissements publics, armateurs, industriels.

C'est aujourd'hui la mise en œuvre de cette stratégie qui est portée au travers du programme de rééquilibrage de la Loire, dans le cadre du Plan Loire IV (2014-2020).

Le planning suivant rappelle l'enchainement successif des différents plans Loire, les opérations et études menées, les contrats pour la Loire mis en place et la concertation engagée.

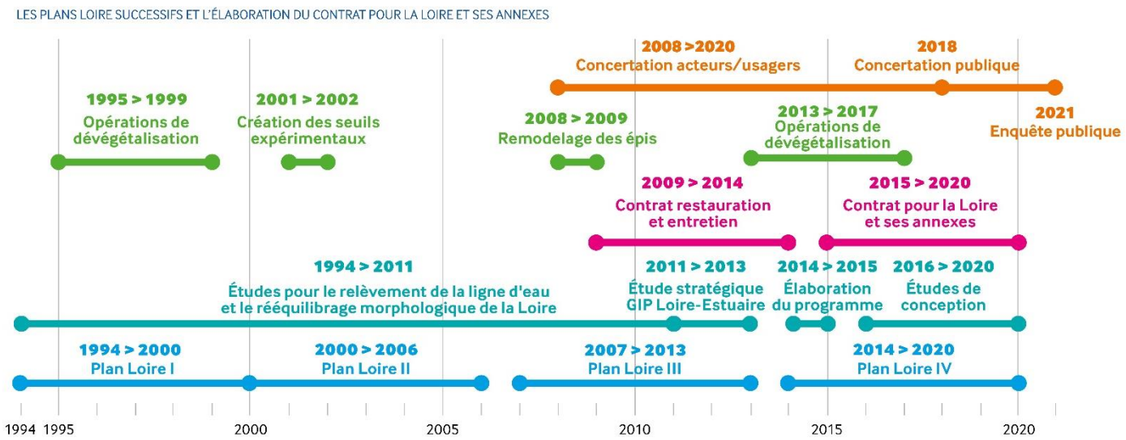


Figure 11 : Les plans Loire successifs et l'élaboration du contrat pour la Loire et ses annexes (source VNF)

2.2 La définition de la stratégie d'intervention

L'étude stratégique pilotée par le GIP Loire-Estuaire a été réalisée de 2011 à 2013 grâce à une modélisation hydraulique et sédimentaire. Cet outil permet, à partir de données historiques, de simuler sur ordinateur le transport de sédiments sur une période donnée.

L'évolution de la Loire sans intervention humaine sur 50 ans a d'abord été simulée. Il s'agit du scénario tendanciel, étudié selon 2 hypothèses :

- Une hypothèse haute, avec des apports sédimentaires depuis l'amont suffisants pour garantir l'équilibre hydrosédimentaire de la Loire ;
- Une hypothèse basse, avec un déficit des apports sédimentaires depuis l'amont.

L'hypothèse haute a montré une tendance à la stabilisation du lit, quand l'hypothèse basse montrait une tendance à la poursuite de l'incision, de façon généralement moins prononcée que par le passé.

Les effets de différentes stratégies d'intervention reposant sur une ou plusieurs des solutions (remodelage d'épis, création de seuils, réouverture de bras secondaires, etc.) ont ensuite été étudiés. L'exercice a montré que la combinaison de plusieurs leviers d'action permettait d'agir plus efficacement que des actions isolées.

Le programme de rééquilibrage de la Loire est né de cette étude stratégique. Il comporte deux phases de travaux dans le lit mineur de la Loire. Les actions concernent le chenal principal de la Loire et 10 bras secondaires.

La stratégie d'intervention a été définie à long terme, selon plusieurs hypothèses d'apports sédimentaires qui montrent selon les cas, une tendance à la stabilisation du lit ou une poursuite de l'érosion moins prononcée que par le passé. Des leviers d'actions combinés ont été étudiés et modélisés, contribuant à la construction du programme d'actions de rééquilibrage du lit de la Loire.

2.3 Trajectoire évolutive tendancielle de la Loire sans mise en œuvre du programme de rééquilibrage

La trajectoire tendancielle de la Loire sans mise en œuvre du programme de rééquilibrage a été simulée sur 50 ans par modélisation hydrosédimentaire, dans le cadre des études du présent projet. Ce scénario dit « tendanciel » correspond à l'évolution attendue de l'hydrosystème sans intervention de l'Homme.

Ces éléments sont détaillés dans les livrables milieu physique et milieu biologique, notamment dans sa partie « Description de la trajectoire évolutive passée, actuelle et future du système fluvial de la Loire avec sans projet de rééquilibrage du lit ». Les principales conclusions sont résumées ci-après :

D'un point de vue sédimentaire, d'après les modélisations effectuées, la majorité des tronçons étudiés dans la zone d'étude seraient stables. Seuls deux secteurs retrouvent une tendance au dépôt sédimentaire mais qui reste faible : Mauves-sur-Loire à Oudon (**pk**[1]74 à 82), de Oudon à Ancenis (pk82 à 90) et de Saint-Florent-le-Vieil à Ingrandes (pk 112 à 103)

Les lignes d'eau d'étiage sont légèrement rehaussées dans le scénario tendanciel sur le secteur fluvial par rapport à l'état actuel. Le secteur aval, fluvio-maritime, présente une stabilisation des lignes d'eau par rapport à l'état actuel. L'engravement du lit à long terme est à l'origine de cette légère rehausse des lignes d'eau qui apparait surtout sensible sur les secteurs fluviaux à l'étiage. Cette tendance naturelle, bien que positive, est cependant insuffisante au regard des objectifs. En outre, l'effet se poursuit en crue avec des rehausses de 5 à 10 cm. Elles peuvent s'expliquer à la fois par la rehausse du fond du lit mais également par la « terrestrialisation » des bancs d'épis qui implique une forte augmentation de la végétation arbustive et arborescente au sein du lit mineur. La capacité naturelle d'écoulement des crues du fleuve est ainsi réduite.

Concernant le milieu biologique, les fonctionnements des écosystèmes et surtout les dysfonctionnements actuels, c'est-à-dire, l'état « figé » dans lequel sur trouve la Loire se poursuivra durablement. Une perte de la mosaïque d'habitats en résulte. Le maintien des faibles connexions avec les annexes aura pour conséquence de favoriser les milieux terrestres et de poursuivre la dualité constatée entre milieux aquatiques d'un côté et milieux terrestres de l'autre. Les milieux aquatiques seront donc toujours principalement cantonnés au chenal actif de la Loire, les déconnexions avec les annexes étant plus tôt dans l'année, plus régulières et plus longues, limitant d'autant les échanges et fonctionnalités biologiques associés.

D'après les études existantes, **l'évolution du climat** dans le Bassin de la Loire va engendrer des conséquences sensibles sur le régime hydrologique de la Loire : tendance à la diminution des débits d'étiage, diminution du débit moyen annuel et allongement des périodes à faibles débits. Ces hypothèses sont susceptibles d'accentuer le déséquilibre latéral du fleuve avec notamment une déconnexion des annexes plus importante. Les principales conséquences des modifications de débits dues au réchauffement climatique sur les milieux naturels vont être le développement croissant d'une végétation ligneuse sur les grèves longuement exondées (au détriment des végétations herbacées caractéristiques de la Loire), la perte d'habitat pour la faune piscicole, la diminution des surfaces utilisables pour la nidification des oiseaux de grèves (augmentation de la prédation) ou encore la perte de zones d'alimentation pour de nombreuses espèces faunistiques (oiseaux, Castor d'Europe…).

Outre les effets de diminution des débits d'étiage du fleuve et de l'augmentation de leur fréquence et durée, la température de l'eau est également un facteur essentiel, expliquant la répartition et la structure des populations de poissons à l'échelle du bassin versant de la Loire. Les projections actuelles vis-à-vis de ce paramètre, montrent des augmentations de plusieurs degrés, d'ici la fin du siècle ce qui engendrerait un bouleversement des équilibres écologiques actuels (perturbation pour la reproduction, pour la dynamique des populations, etc).

Sans mise en œuvre du programme, une tendance à la stabilisation récente de la ligne d'eau a pu être observée sur certains secteurs. Cette stabilisation est confirmée dans les simulations de la situation tendancielle. Une légère rehausse des fonds et des lignes d'eau peut être observée localement dans la partie fluviale. Cette tendance naturelle, bien que positive, ne suffira pas à contrer la dynamique de fermeture progressive des milieux alluviaux connexes au cours principal.

Cela signifie que le déséquilibre actuellement constaté va perdurer à long terme, avec un lit très incisé et des bras secondaires perchés. La tendance à la fermeture des milieux continuera dans les annexes qui resteront peu connectées au lit principal, en entraînant une baisse de la diversité des milieux et en réduisant progressivement le tracé du fleuve au seul bras principal corseté. Ces déséquilibres devraient s'accentuer avec les effets du changement climatique. Cette évolution implique une homogénéisation globale des végétations et des espèces animales qu'elles hébergent, avec, à terme, un appauvrissement généralisé de la biodiversité de la Loire.

L'évolution tendancielle du fleuve ne permettra donc pas, à elle seule, un retour à un fonctionnement dynamique fluvial équilibré. Le projet vise à améliorer significativement cette situation par un rééquilibrage plus important, permettant le maintien de milieux naturels riches et dynamiques.

[1] **Pout tout repère géographique, se rapporter à la carte générale de l'aire d'étude globale du programme de rééquilibrage du lit de la Loire présente dans le résumé non technique (livret 2) de l'étude d'impact.**

2.4 Le Contrat pour la Loire et ses annexes 2015-2020

Le Contrat pour la Loire et ses Annexes (CLA) de Montsoreau à Nantes constitue un document cadre pour la mise en œuvre du programme de rééquilibrage du lit de la Loire, signé en 2015 par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, la Région des Pays-de-la-Loire, l'État, le Conservatoire d'espaces naturels des Pays de la Loire (CEN), le Groupement d'intérêt public (GIP) Loire-Estuaire, Voies Navigables de France (VNF) et l'ensemble des maîtres d'ouvrage.

Ce contrat traduit l'accord intervenu entre les différents signataires concernant la mise en œuvre du programme de rééquilibrage morphologique du lit mineur de la Loire et le bon fonctionnement écologique des milieux qui lui sont associés.

Ce programme vise à décliner sur la période 2015-2020 une stratégie d'actions structurantes sur la Loire de Nantes à Montsoreau. Cette stratégie a été définie de manière partenariale en 2013 et comprend, outre les actions sur le lit mineur portées par VNF, une série d'actions spécifiques de restauration des annexes fluviales, portées par différents maîtres d'ouvrages (les Fédérations pour la pêche et la protection du milieu aquatique de la Loire-Atlantique et du Maine et Loire, certaines collectivités) et coordonnées par le CEN.

Ce contrat comprend donc deux grands types d'actions :

- **Des actions « *structurantes* » sur le chenal de la Loire entre les Ponts de Cé et Nantes**, visant à intervenir sur la morphologie du fleuve (rehaussement des fonds et de la ligne d'eau, mobilité du chenal et connexion des annexes fluviales). Ces actions structurantes concernent **le lit principal mais également la réouverture de bras secondaires** qui, pour certains ont un rôle dans la dynamique hydrosédimentaire de la Loire et pour d'autres sont sous l'influence hydromorphologique directe des travaux dans le bras principal. Ces actions sont portées par VNF dans le cadre du programme de rééquilibrage du lit de la Loire, objet du présent dossier ;
- **Des actions de restauration de la continuité hydro-écologique et d'entretien sur les annexes fluviales de la Loire** (bras secondaires et boires) entre Montsoreau et Nantes. Ces actions visent selon les cas au rétablissement d'une dynamique fluviale et/ou d'une continuité écologique uniquement. Ces actions de restauration nécessitant de mener une concertation de proximité, sont portées par des maîtres d'ouvrages locaux : collectivités territoriales ou fédérations de pêche.

Ce contrat est construit sur une période de 6 ans (de 2015 à 2020) en cohérence avec la mise en œuvre du plan Loire grandeur nature IV (2015-2020). Un avenant est en cours de préparation pour couvrir la phase de travaux dans le cadre d'un plan Loire V à l'étude.

Plusieurs instances ont été constituées pour assurer le pilotage de la mise en œuvre du Contrat pour la Loire et ses Annexes (CLA).

Le comité de pilotage rassemble plusieurs fois par an les partenaires institutionnels et financiers (État, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Région Pays de la Loire), les animateurs (CEN Pays de la Loire et GIP Loire-Estuaire), Voies navigables de France, les conseils départementaux de Loire-Atlantique et de Maine-et-Loire et les maîtres d'ouvrage des autres actions inscrites au contrat.

Il a pour rôle de :

- Valider toutes les étapes liées à l'élaboration du CLA et la programmation ;
- Examiner les bilans annuels (ainsi que l'évaluation de fin de contrat), évaluer les résultats obtenus, débattre des orientations à prendre et valider les actions de l'année à venir ;
- Définir la stratégie de communication et de valorisation des actions.

Afin d'assurer une bonne articulation avec le SAGE Estuaire de la Loire, la Commission locale de l'eau (CLE) est également représentée au Comité de pilotage pour information.

Le comité technique est composé de représentants techniques des structures associées au Contrat pour la Loire et ses Annexes (Agence de l'eau, Région, GIP Loire-Estuaire, CEN Pays de la Loire, services de l'État, Agence française de la biodiversité, fédérations de pêches, Syndicat Loire aval, etc.). Il se réunit autant que de besoin tout au long de l'avancement des études et procède :

- À l'examen et au contrôle de la **cohérence des actions engagées dans le cadre du contrat** ;
- Au suivi des actions programmées et des indicateurs associés ;
- À l'analyse des actions émergentes pour la préparation de la phase 2018-2020 du contrat.

Le comité scientifique est composé d'experts nationaux et internationaux sur les différentes composantes du programme (hydraulique, transport de sédiments, milieux aquatiques, etc.). Il étudie les éléments techniques les plus pointus du programme de rééquilibrage et aide VNF à valider les principales méthodes et hypothèses des études.

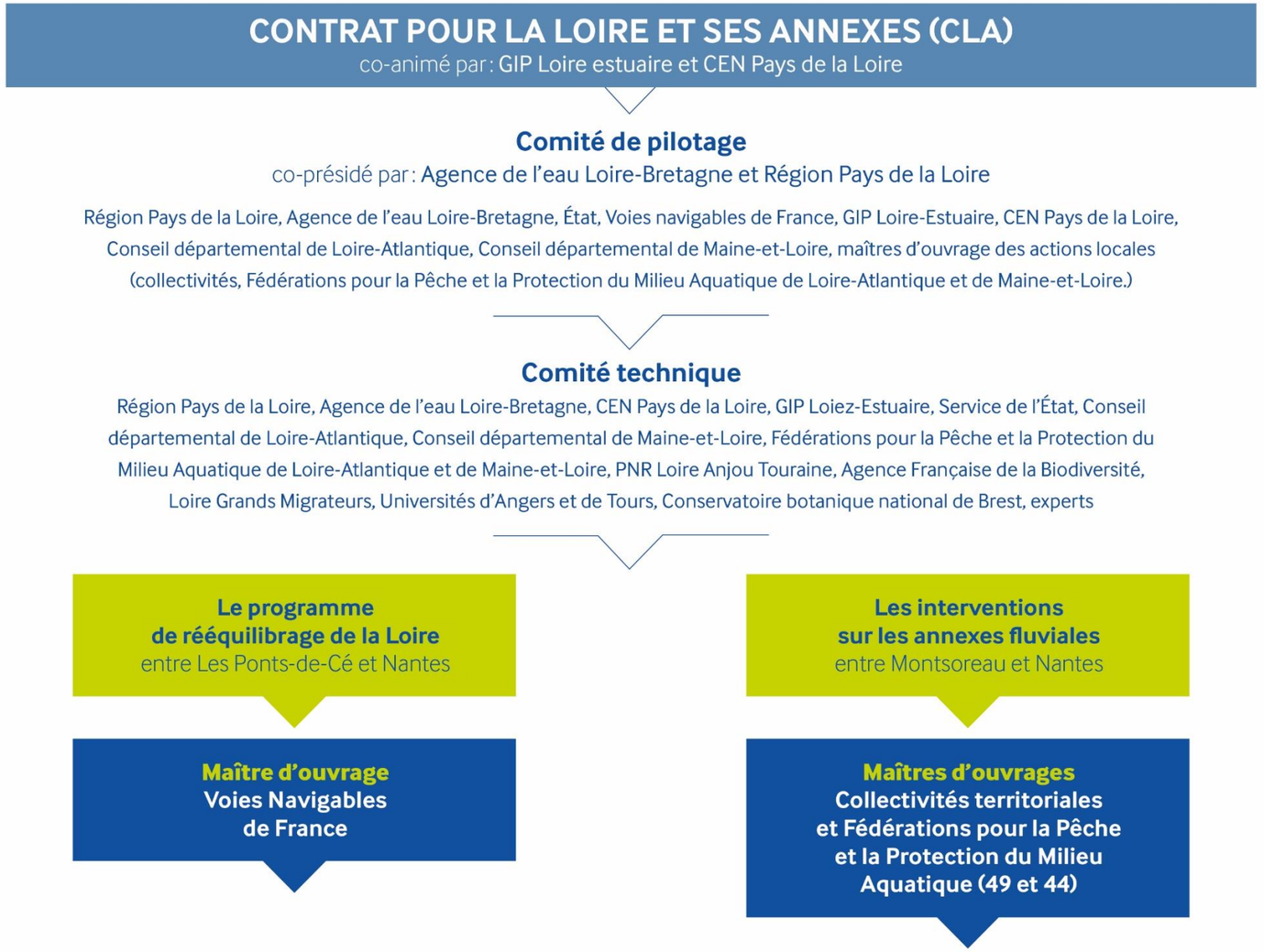


Figure 12 : Le contrat pour la Loire et ses annexes

Le GIP Loire estuaire et le CEN des Pays de la Loire sont chargés conjointement de l'animation du CLA et de son évaluation. Le programme de suivi du CLA est présenté dans le livret Synthèses des effets et mesures du présent dossier.

Le fonctionnement du CLA et son contenu sont présentés plus en détail en annexe du présent livrable.

Le programme de rééquilibrage du lit de la Loire, objet du présent dossier, est porté par Voies Navigables de France et fait partie du Contrat pour la Loire et ses Annexes de Montsoreau à Nantes. Il comporte les actions « structurantes » menées sur le chenal principal de la Loire et certains bras secondaires qui vont contribuer à son rééquilibrage longitudinal et latéral.

3. Présentation du projet

3.1 Les objectifs

Le programme de rééquilibrage du lit de la Loire vise à agir sur la morphologie du fleuve, dans l'objectif d'améliorer le fonctionnement de la dynamique fluviale dans toutes ses composantes. Les deux leviers mobilisés visent :

- un rééquilibrage longitudinal avec la rehausse des fonds et des lignes d'eau à l'étiage ;
- un rééquilibrage latéral avec la reconnexion des annexes hydrauliques et une plus grande mobilité des grèves et des fonds.

Le rééquilibrage du lit de la Loire doit permettre de restaurer des conditions environnementales plus favorables pour la faune et la flore ligérienne et de préserver voire restaurer la mosaïque d'habitats qui fait la richesse de la Loire. En effet, la dynamique fluviale naturelle qui sera restaurée permettra une augmentation de la variabilité des habitats et donc de leur diversité.

La restauration de connexions plus fréquentes et plus longues avec les annexes fluviales permettra d'améliorer leurs fonctionnalités écologiques vis-à-vis de nombreuses espèces. Les corridors écologiques seront améliorés.

La rehausse de la ligne d'eau permettra la reconquête d'habitats aquatiques dans le lit mineur, en régression depuis ces dernières décennies.

En outre, la restauration d'une meilleure connexion du fleuve avec ses annexes contribuera à améliorer la qualité de l'eau et la résilience du fleuve face aux effets du réchauffement climatique.

Enfin, le projet doit permettre le maintien des usages du fleuve, de façon durable.

3.2 Les principes d'action

Le programme de rééquilibrage de la Loire vise à améliorer le fonctionnement hydrosédimentaire et écologique du fleuve au moyen de plusieurs interventions. Il repose sur **2 actions complémentaires**.

1. **Remodeler les ouvrages de navigation (épis, duis, chevrettes, seuils)** afin de redonner de l'espace de liberté à la Loire et de mieux connecter les bras secondaires au bras principal. Le remodelage consiste à abaisser, raccourcir ou supprimer ces ouvrages. Cette action doit aussi permettre de libérer les sédiments piégés entre les ouvrages de façon à ce qu'ils puissent être emportés par l'écoulement de la Loire et déposés en aval, notamment aux endroits où le lit de la Loire s'est trop creusé.

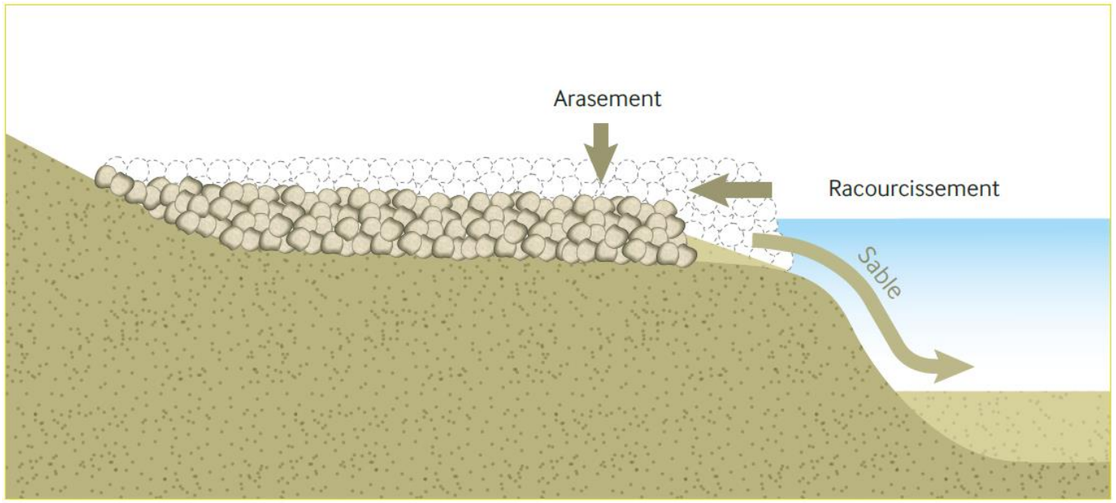


Figure 13 : Principes de remodelage d'un épi (source : dossier de concertation)

2. **Créer une zone de transition en amont de Nantes**. Cette zone, en ralentissant la vitesse d'écoulement et en réduisant la pente de la ligne d'eau, doit favoriser le dépôt des sédiments en amont de l'aménagement et ainsi contribuer au rehaussement du niveau des fonds. Cette action concerne le secteur de Bellevue.

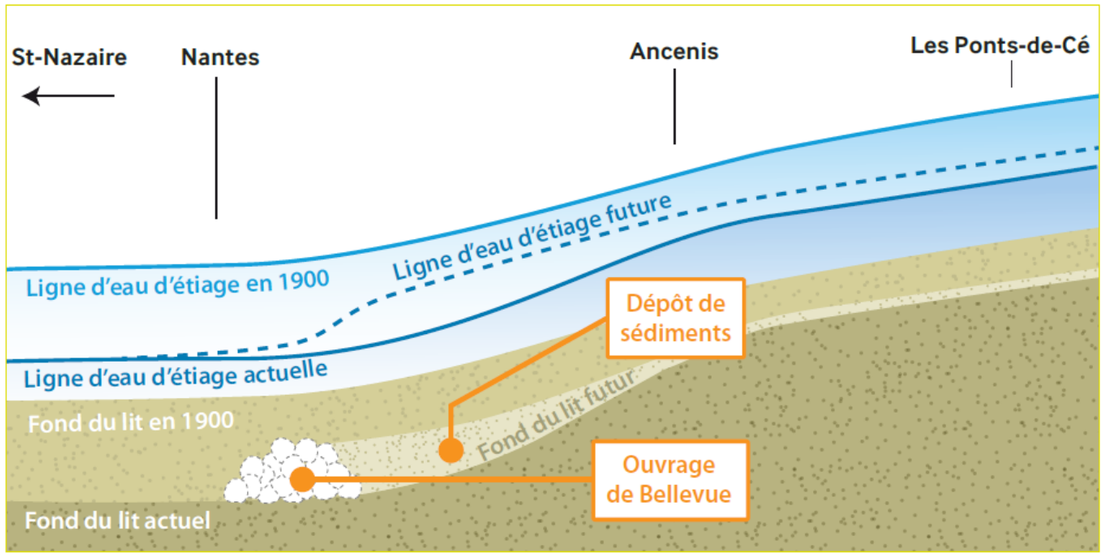


Figure 14 : Le principe du rééquilibrage longitudinal de la Loire (source : dossier de concertation)

Le programme de rééquilibrage du lit de la Loire a été découpé en 2 phases d'interventions.

La première phase de ce programme comporte trois secteurs prioritaires d'intervention :

- Le secteur de Montjean-sur-Loire à Ingrandes-Le Fresne sur Loire pour poursuivre la dynamique engagée par l'expérimentation de 2002 ;
- Le secteur d'Anetz à Oudon, secteur le plus sujet à l'incision encore à l'heure actuelle ;
- Le secteur de Bellevue, avec la réalisation d'un aménagement structurant destiné à garantir la durabilité de la restauration menée à l'amont, en assurant une transition avec l'aval.

Les secteurs identifiés à ce stade pour la phase 2 concernent le bras de Saint-Georges, le secteur de Varades-Saint-Florent et le secteur entre Oudon et Mauves-sur-Loire. Cette seconde phase de travaux sera définie plus précisément à l'issue de la réalisation des travaux de la phase 1 et de leur suivi.

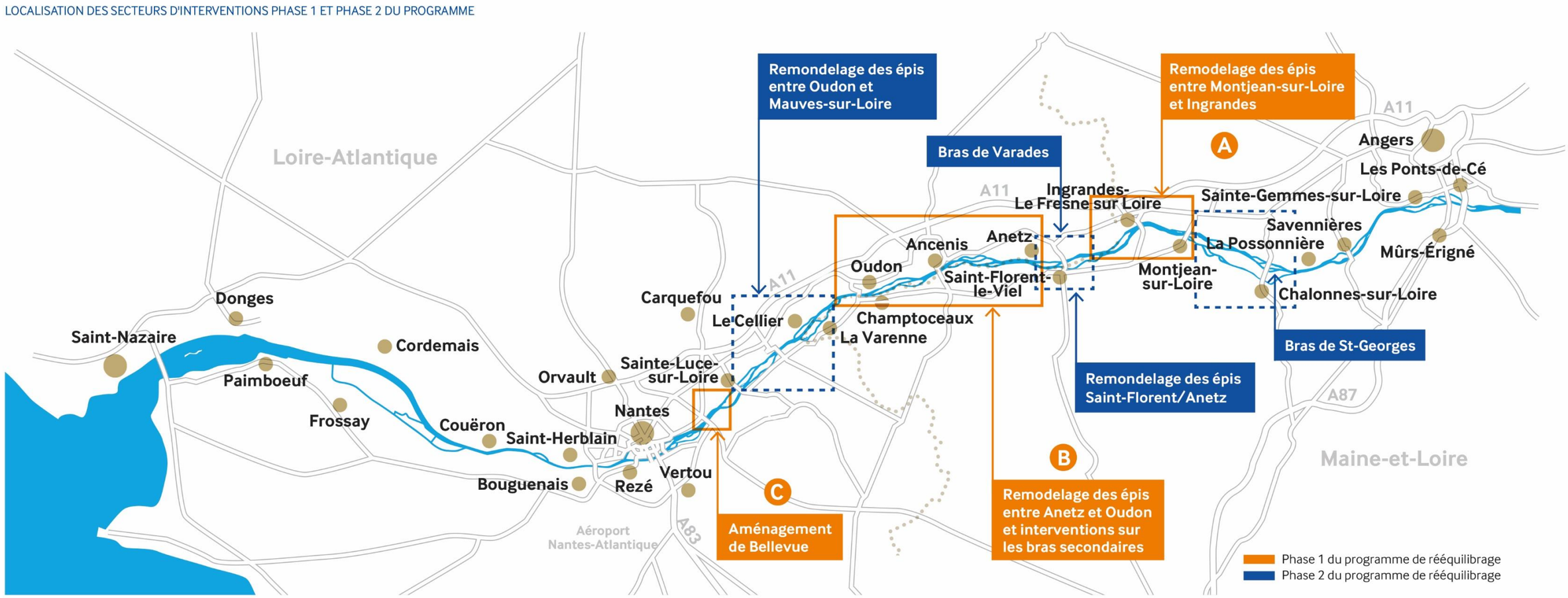


Figure 15 : Localisation des secteurs d'interventions du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (phase 1 et phase 2)

3.3 Phase 1 du projet : interventions sur les secteurs A, B et C

La première phase de ce programme comporte trois secteurs prioritaires d'intervention :

- Le secteur de Montjean-sur-Loire à Ingrandes-Le Fresne sur Loire pour poursuivre la dynamique engagée par l'expérimentation de 2002 ;
- Le secteur d'Anetz à Oudon, secteur le plus sujet à l'incision encore à l'heure actuelle ;
- Le secteur de Bellevue, pour la réalisation d'un aménagement structurant destiné à garantir la durabilité de la restauration menée à l'amont, en assurant une transition avec l'aval.

3.3.1. Secteur A : entre Montjean-sur-Loire et Ingrandes-le-Fresne-sur-Loire

Sur ce secteur, il s'agit :

- De redonner de l'espace de liberté à la Loire ;
- De remobiliser les sédiments en remodelant les épis et en favorisant la submersion du bras secondaire de Cul-de-Bœuf. Le remodelage consiste à abaisser, raccourcir ou supprimer les ouvrages.

L'intervention s'inscrit dans la continuité d'une expérimentation conduite depuis 2002. Des seuils à échancrure, c'est-à-dire avec une ouverture centrale, avaient été créés à l'entrée du bras principal de façon à détourner une partie de l'écoulement vers le bras secondaire de Cul de Bœuf. Cette action a effectivement permis au bras secondaire de retrouver une dynamique d'alimentation continue, y compris à l'étiage, et a aussi eu pour conséquence un dépôt de sédiments dans le lit principal en amont des seuils.

Les impacts paysagers du dispositif, les incidences sur la navigation et la dégradation des ouvrages ont conduit à retirer les enveloppes géotextiles qui constituaient la partie supérieure des seuils en novembre 2017.

Le remodelage des épis situés en amont du bras de Cul-de-Bœuf vise à conforter la dynamique initiée. Parmi les différentes options étudiées, c'est la transformation des épis qui a été retenue.

Sur le secteur A, le projet consiste à raccourcir, araser et supprimer 23 épis :

- 7 épis supprimés ;

- 16 épis réduits et/ou abaissés.

Les travaux devraient se dérouler sur 1 à 2 étiages : à partir de septembre à novembre 2021 (sous réserve de l'obtention des autorisations environnementales) puis éventuellement 2022.

CARTE DES TRAVAUX DE REMODELAGE DES ÉPIS PRÉVUS ENTRE MONTJEAN-SUR-LOIRE ET INGRANDES *(SOURCE : ISL)*

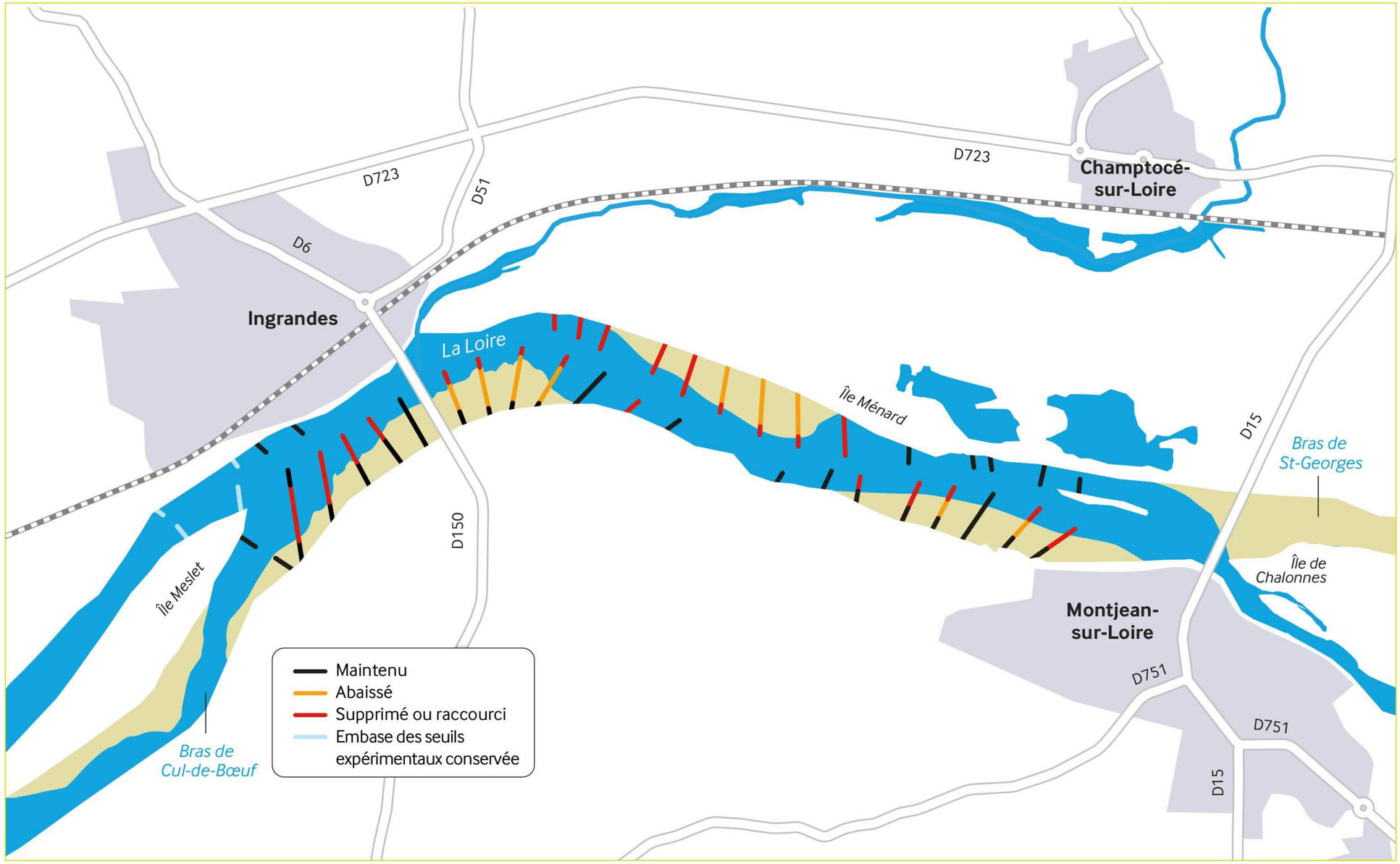


Figure 16 : *Les épis remodelés sur le secteur A entre Montjean-sur-Loire et Ingrandes (source : ISL)*

3.3.2. Secteur B : entre Anetz et Oudon

Entre Anetz et Oudon, au niveau des îles Neuve et Macrière, la Loire se sépare en deux bras : le bras principal et le bras secondaire, dit bras de l'île Neuve-Macrière. Ce dernier est aujourd'hui en surplomb du bras principal et, par conséquent, à sec près de la moitié de l'année.

L'intervention sur ce secteur a plusieurs objectifs :

- Redonner un plus grand espace de mobilité au chenal d'étiage ;
- Remobiliser les sédiments piégés entre les épis ;
- Élever le niveau des fonds du bras principal ;
- Restaurer la dynamique hydromorphologique des bras secondaires et en particulier celui du bras de l'île Neuve-Macrière.

Douze scénarios d'aménagements ont été étudiés, comprenant une ou plusieurs des actions suivantes : remodelage des épis entre Anetz et Oudon, modifications de la chevrette et/ou du seuil du bras secondaire de l'île Neuve-Macrière, creusement d'un chenal dans le bras secondaire, rechargement du bras principal avec des enrochements ou du sable.

Les modélisations hydrosédimentaires réalisées ont mis en évidence l'efficacité du remodelage des épis entre Anetz et Oudon pour rehausser le niveau d'eau à l'étiage, couplée au remodelage des aménagements en amont des bras secondaires afin d'augmenter le débit y transitant. En aval du bras de l'Ile Neuve-Macrière, les études ont montré l'utilité de supprimer certains ouvrages pour faciliter la libération des sédiments. Par contre, le creusement d'un chenal dans ce bras secondaire, initialement envisagé, a été testé et jugé inefficace : il est préférable que la Loire remodèle naturellement son lit.

Sur ce secteur, le projet, au sens de l'article L122-1 du Code de l'environnement, comprend également la réouverture de bras secondaires (outre celui de l'ile Neuve –Macrière évoqué ci-dessus), qui sont sous l'influence hydromorphologique directe des travaux dans le lit principal :

- Bras des Babins ;
- Bras du Bernardeau et du Chalais ;
- Bras des Vinettes ;
- Bras de l'île Delage ;
- Bras des Brevets.

Le remodelage des ouvrages de navigation à l'amont et à l'aval de ces bras favorisera leur alimentation en eau et leur accessibilité pour les espèces.

De plus, des actions complémentaires de restauration ont pu être réalisées par anticipation sur certains de ces bras (détail en annexe du livrable 3 -Projet) sous la maitrise d'ouvrage de VNF ou d'acteurs locaux (collectivités locales, fédération de pêche). De la même manière, des actions complémentaires au projet seront menées **a posteriori**, par les maitres d'ouvrage locaux ou VNF, pour restaurer si besoin des déséquilibres au sein des bras. Ces travaux réalisés ou à venir en fonction des besoins poursuivent tous les objectifs suivants, complémentaires des objectifs liés au lit principal :

- Restauration de la continuité hydro-sédimentaire et écologique ;
- Reconquête d'une dynamique fluviale plus naturelle dans le lit et les bras ;
- Favoriser les fonctionnalités écologiques et la richesse biologique dans le lit et les bras.

Sur le secteur B, le projet consiste à intervenir sur 103 épis et chevrettes (25 épis seront maintenus en l'état) : suppression, raccourcissement et arasement :

- 37 épis seront raccourcis (avec ou sans arasement du reste de l'ouvrage), pour un linéaire de raccourcissement total d'environ 3 600 m ;

- 43 épis et chevrettes seront abaissés sur toute leur longueur ;

- 21 épis et chevrettes seront supprimés, ce qui représente un linéaire d'ouvrages de 2 360m.

- 2 épis seront partiellement supprimés ;

Les travaux devraient se dérouler sur 2 à 3 étiages, à partir de septembre 2022.

CARTE DES TRAVAUX DE REMODELAGE DES ÉPIS PRÉVUS ENTRE ANETZ ET ANCENIS *(SOURCE : ARTELIA)*

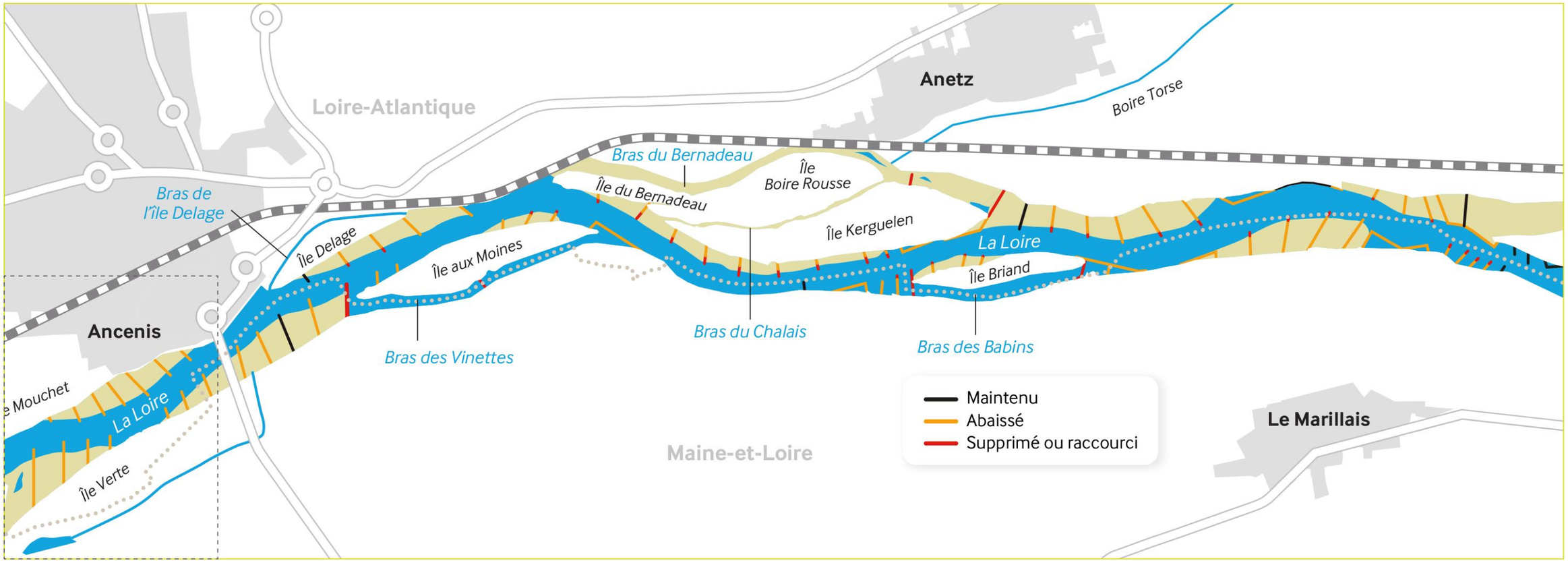


Figure 17 : Les épis à remodeler entre Anetz et Ancenis (source : Artélia)

CARTE DES TRAVAUX DE REMODELAGE DES ÉPIS PRÉVUS ENTRE ANCENIS ET OUDON *(SOURCE : ARTELIA)*

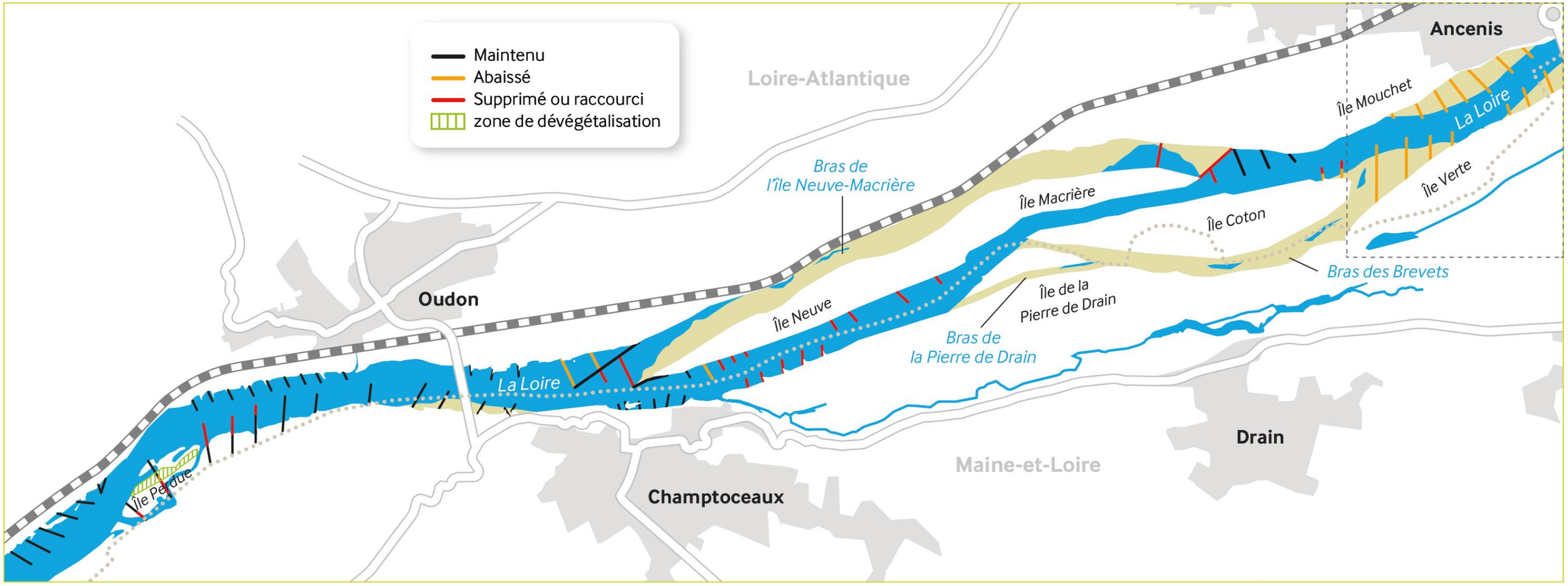


Figure 18 : Les épis à remodeler entre Ancenis et Oudon (source : Artelia)

3.3.3. Secteur C : À Bellevue, communes de Sainte-Luce-Sur-Loire, Thouaré-sur-Loire et Saint-Julien-de-Concelles

Le seuil naturel rocheux de Bellevue, associé au système d'épis en rive gauche, permettait, d'une part, de ralentir les courants et, d'autre part, de maintenir un certain niveau du fond du lit et des lignes d'eau en amont de Nantes. Dans les années 70, le chenal de navigation qui passait autrefois sur le seuil rocheux, en rive droite, a été déplacé et élargi vers le centre du lit. Pour cela, des travaux de rescindement des épis ont été réalisés, associés à un dragage massif de sable et à un déroctage du flanc sud du seuil rocheux.

Ces travaux ont déclenché un processus d'érosion rapide, avec pour conséquence un abaissement important de la ligne d'eau d'étiage.

Le programme de rééquilibrage du lit de la Loire propose de recréer à Bellevue une zone de transition entre la Loire estuarienne aval, profonde et chenalisée, et la Loire en amont à restaurer. Il s'agit de réduire la vitesse d'écoulement de l'eau et la pente de la ligne d'eau afin de favoriser le dépôt de sédiments en amont. Pour ce faire, l'objectif de l'aménagement de Bellevue est de rehausser la ligne d'eau de **basse mer, de l'étiage jusqu'au débit moyen**. A marée haute ou en période de crue, l'ouvrage doit être submergé et transparent, c'est-à-dire qu'il ne doit pas modifier le niveau d'eau.

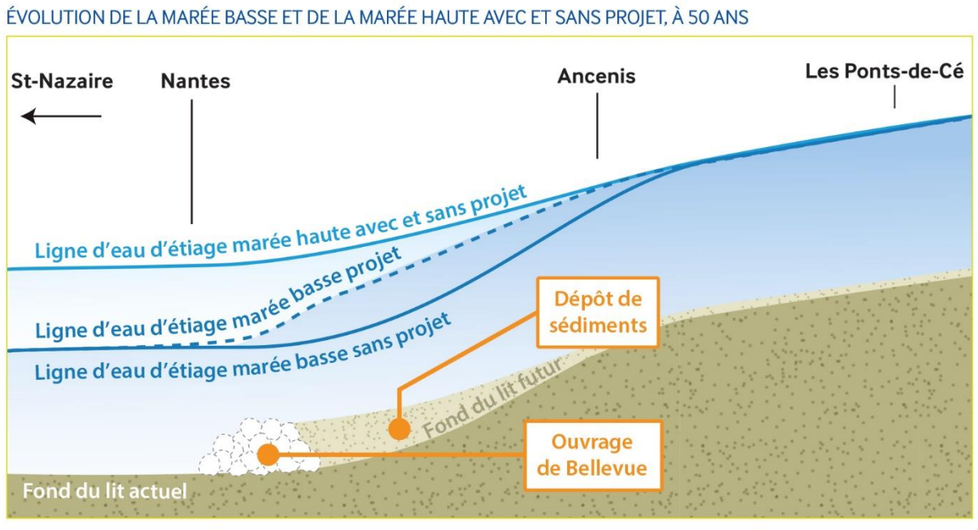


Figure 19 : Schéma de l'évolution de la marée basse et de la marée haute, avec et sans projet, à 50 ans

Cette zone de transition doit, plus globalement, permettre de pérenniser les actions de restauration entreprises en amont, à savoir les actions de remodelage expérimental des épis de Chalonnes et les travaux de remodelage des épis dans les secteurs A et B. Le projet d'ouvrage a été positionné en aval du bras de Thouaré et en amont du pont de Bellevue, secteur où la Loire ne comprend pas de bras secondaire. C'est à cet endroit que l'on observe une « rupture de pente », c'est-à-dire que la pente de la Loire diminue fortement de l'amont vers l'aval.

Le projet retenu comporte un ouvrage principal assurant la perte de charge et plusieurs ouvrages attenants et mesures d'accompagnements. L'ouvrage est constitué d'un duis submersible longitudinal d'environ 250m implanté au droit du socle rocheux naturel existant, d'un duis submersible transversal à l'écoulement de 500m de long, qui permettra d'orienter le courant vers le chenal au nord ainsi que d'un tapis de protection en aval immédiat de l'aménagement et d'une protection de berges en rive gauche. La zone en angle entre le duis et la rive gauche a été optimisée pour le franchissement des poissons. L'ouvrage sera constitué d'enrochements et de matelas gabions sur le parement amont.

Des ouvrages attenants au duis seront construits afin d'éviter certains impacts négatifs liés au passage du courant dans le chenal Nord à terme :

- Protections de berges en rive droite à Bellevue afin d'éviter une érosion locale de berge. Elles seront constitués d'enrochements en pied de berge et seront végétalisés en haut de berge pour permettre l'accueil d'habitats naturels.
- 3 rampes sous fluviales dans le chenal Nord. D'une hauteur d'1 m environ, elles seront posées sur le toit rocheux et seront constituées d'enrochements. Elles ont pour rôle de limiter les vitesses de courant dans le chenal Nord.
- Un tapis en enrochements sera créé à la sortie du toit rocheux afin de dissiper la vitesse de courant.

L'aménagement, en ralentissant la vitesse d'écoulement et en réduisant la pente de la ligne d'eau favorisera le dépôt de sédiments et ainsi le réengravement du fond du lit. Sur l'aire d'étude globale, la rehausse des fonds à 50 ans sera environ 30 % plus importante avec l'ouvrage. Elle sera également plus rapide qu'en son absence : à 30 ans, la rehausse sera 70 % plus importante avec l'ouvrage que sans. L'effet combiné des actions du programme permettra ainsi d'atteindre un dépôt de plus de 1,5 millions de mètres cubes de sédiments dans le chenal navigable par rapport à une situation sans mise en œuvre du projet, conformément aux objectifs fixés initialement.

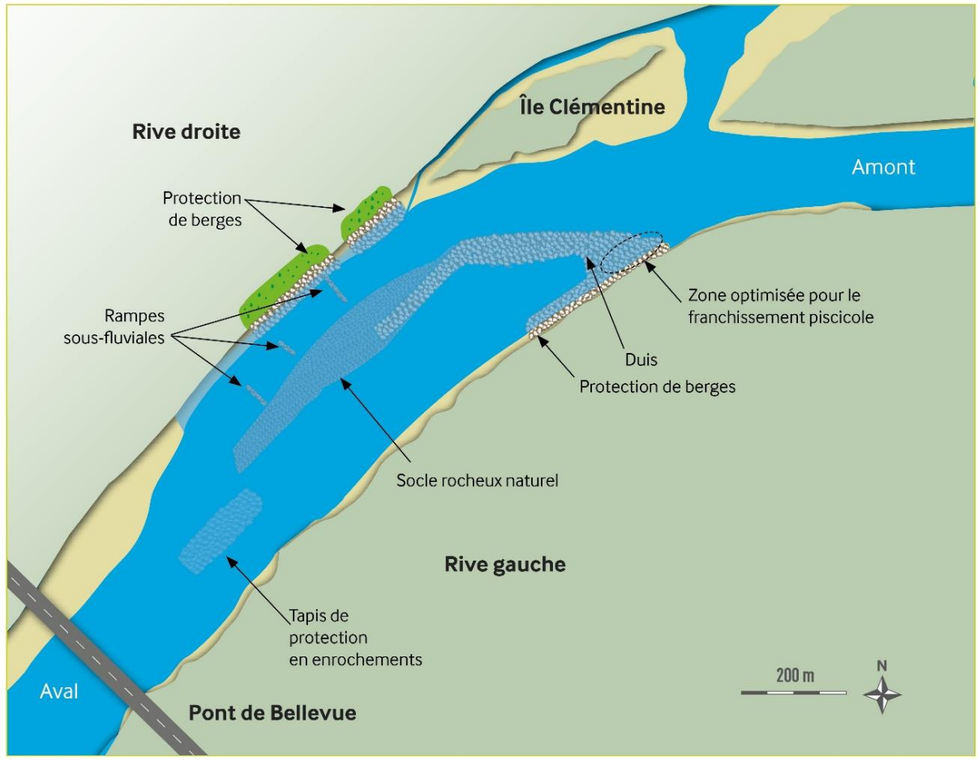


Figure 20 : Présentation de la solution retenue (secteur C)

De plus, afin de ne pas augmenter le niveau d'inondation en rive droite dans le secteur de Bellevue, 3 épis présents dans le bras de Thouaré seront abaissés. Enfin des mesures de signalisation pour la navigation seront mises en place dans le chenal Nord.

Sur ce secteur, le projet, au sens de l'article L122-1 du Code de l'environnement, comprend également le projet de restauration du bras de l'Ile Clémentine. Ce bras sera sous l'influence directe de l'effet hydraulique de l'ouvrage à créer. La commune de Sainte-Luce-sur-Loire, maitre d'ouvrage, mène actuellement des réflexions en vue de sa restauration. Les principes d'intervention ne sont pas définis à ce stade, mais poursuivent les objectifs suivants, complémentaires des objectifs liés au bras principal :

- Restauration de la continuité hydro-sédimentaire et écologique ;
- Reconquête d'une dynamique fluviale plus naturelle dans le lit et les bras ;
- Favoriser les fonctionnalités écologiques et la richesse biologique dans le lit et les bras.

Les travaux devraient se dérouler sur 2 à 3 années consécutives, selon la durée des étiages, à partir de septembre 2023.

3.4 Coût des travaux

En coût actualisé en valeur 2020, les travaux prévus sont estimés comme suit :

	Coût des travaux (€TTC valeur 2020)
Secteur A : Montjean / Ingrandes-Le-Fresne-sur-Loire	2,4 M€
Secteur B : Anetz / Oudon	11,4 M€
Secteur C : Sainte-Luce / Saint-Julien-de Concelles	25 M€
TOTAL	38,8 M€

Rapportés en valeur 2015, ces montants sont conformes à l'enveloppe prévue initialement.

3.5 Phase 2 du projet : des interventions complémentaires sur 4 secteurs

Une phase 2 de travaux est envisagée après la réalisation et le suivi de la première phase. Les secteurs et types de travaux identifiés à ce stade pour cette seconde phase sont les suivants :

- Secteur St Georges-sur-Loire : Travaux d'aménagement du bras de St-Georges ;
- Secteur Varades : Travaux d'aménagement du bras de Varades ;
- Secteur St Florent-Anetz : Remodelage des épis ;
- Secteur Oudon-Mauves-sur-Loire : Remodelage des épis.

Il convient toutefois de rester prudent sur la définition des contours de cette seconde phase, qui devront prendre en compte les enseignements tirés de la phase 1 du programme.

Cette deuxième phase est estimée à environ 15 M€ TTC.

3.6 Les effets attendus : trajectoire évolutive de la Loire avec mise en œuvre du programme de rééquilibrage du lit

Le programme de rééquilibrage a pour objectif de modifier la trajectoire évolutive de la Loire sur le secteur concerné, tant sur le milieu physique que sur le milieu biologique. L'évolution de la Loire à 50 ans dans le cadre de ce scénario dit « projet » a été analysée, comparativement au scénario tendanciel (cf. paragraphe 2.3).

Les effets attendus sont détaillés dans les livrets thématiques :

- Livret 4 - Milieu physique
- Livret 5 – Milieu biologique
- Livret 6 – Milieu humain et risques
- Livret 7 – Patrimoine et Paysage

Le livret 8 synthétise les effets attendus du projet et présente les mesures mises en œuvre pour éviter, réduire ou compenser certains impacts.

Les principaux effets attendus liés aux objectifs de rééquilibrage physique et biologique sont décrits brièvement ci-dessous.

3.6.1. Rééquilibrage longitudinal

3.6.1.1 *La rehausse du fond du lit*

Sur les secteurs de remodelage des épis (secteurs A et B), la remobilisation des sables piégés entre les épis induit une évolution rapide des fonds. Le retour d'expérience de l'opération menée en 2009 entre Chalonnes et La Pointe montre que le fleuve remobilise très rapidement le sable libéré, dès les premiers débits hivernaux morphogènes, et remodèle ainsi les fonds dès les premières années.

L'ouvrage créé à Bellevue (secteur C) doit contribuer à un rehaussement significatif du niveau du lit de la Loire, jusqu'à 65-85 cm sur certains secteurs par rapport à l'état actuel. En moyenne, sur le tronçon de Bellevue à Oudon, la rehausse est en moyenne de 50 à 55cm par rapport au scénario tendanciel, échéance de 20 à 50 ans selon l'hydrologie future du fleuve.

3.6.1.2 *La rehausse de la ligne d'eau d'étiage*

Sur le secteur A, entre l'aval du Bras de Cul de Bœuf et Montjean-sur-Loire, les évolutions de ligne d'eau restent faibles.

Pour le secteur B entre Oudon et Saint-Florent-le-Vieil, un rehaussement à l'étiage jusqu'à 55 cm est attendu. Au module, la ligne d'eau reste relativement inchangée en raison de la redistribution des débits entre le bras principal et les bras secondaires.

Pour le secteur C, <u>à l'étiage et à marée basse</u>, l'ouvrage de Bellevue créera une augmentation significative de la ligne d'eau en amont, de l'ordre de 1.8 m, et ce dès sa réalisation.

Cette augmentation du niveau d'eau se ressentira en s'atténuant progressivement vers l'amont, sur une longueur de plus de 15 kilomètres en amont, soit jusqu'à Oudon.

3.6.2. Rééquilibrage latéral

3.6.2.1 *Ouverture de bras secondaires*

Les actions de remodelage des chevrettes et épis qui barrent l'entrée des bras secondaires doivent permettre de restaurer la continuité hydraulique et sédimentaire au sein de ces bras.

Ces travaux couplés au rehaussement de la ligne d'eau d'étiage, doivent permettre une meilleure alimentation en eau et ainsi de maintenir des milieux de vie aquatiques, y compris en période d'étiage (cf. figures ci-dessous, bras de Neuve-Macrière). Le fleuve pourra ainsi naturellement retrouver un meilleur équilibre entre ses différents bras.

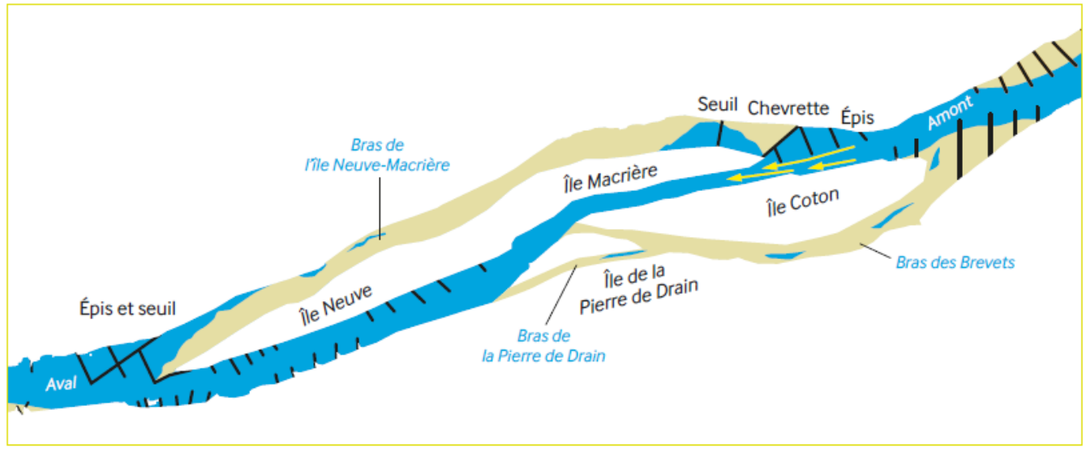


Figure 21 : Situation actuelle du bras de l'île Neuve-Macrière (en 2017)

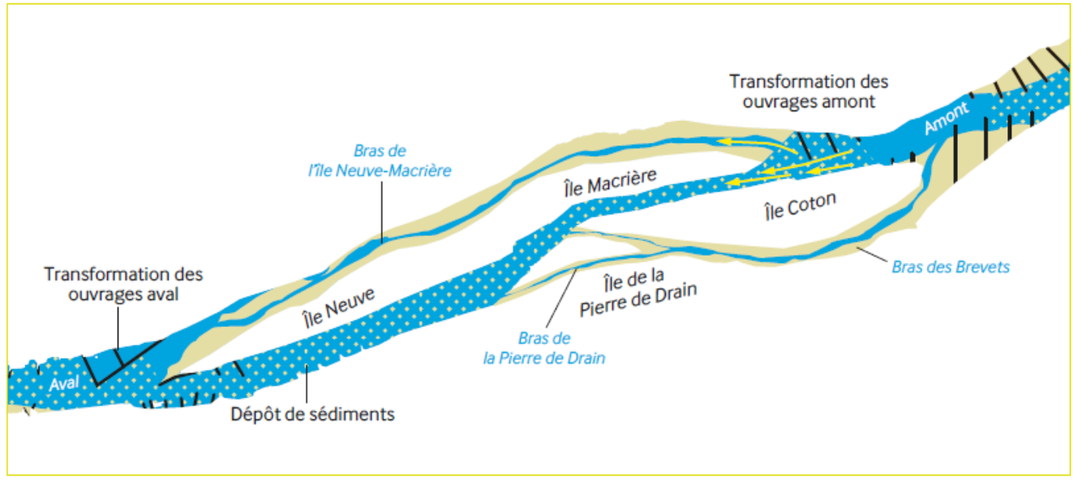


Figure 22 : Situation projetée du bras de l'île Neuve-Macrière (après travaux)

Le projet a des effets très positifs sur la connexion des annexes hydrauliques. Les durées de connexions hydrauliques actuelles sont statistiquement situées entre 35 et 50% du temps et risquent de diminuer selon les hypothèses de réchauffement climatique. Au terme du projet, la majorité des annexes hydrauliques de type bras secondaires bénéficie d'une connexion à plus de 90% du temps.

3.6.2.2 *Restauration d'une morphologie plus naturelle*

Les actions menées auront également pour effet une augmentation de la surface en eau et de la mobilité du chenal d'étiage. Les bancs de sable seront également plus mobiles et pourront varier au gré des conditions hydrologiques du fleuve.

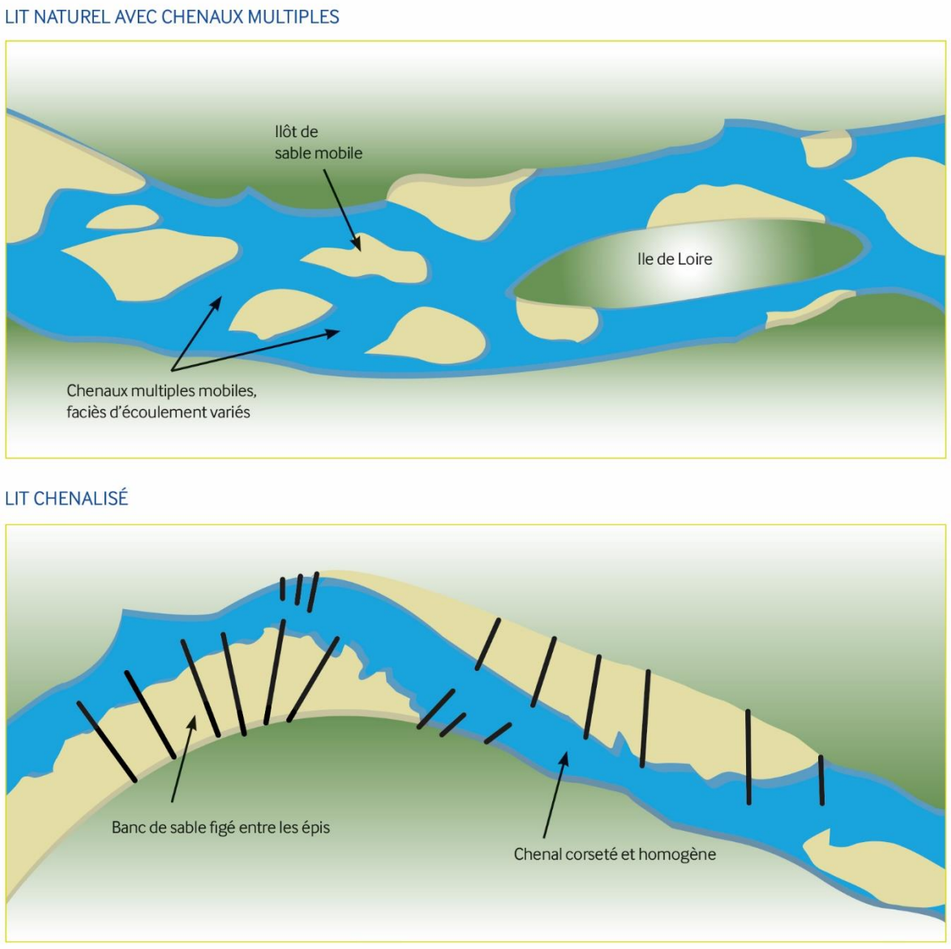


Figure 23 : Illustration d'un chenal corseté (état actuel) vis-à-vis d'un chenal mobile (état naturel)

3.6.3. Evolution des écosystèmes

S'agissant de la trajectoire évolutive des écosystèmes de la Loire avec projet, les actions engagées sur les paramètres physiques / abiotiques que sont le remodelage des épis et chevrettes sur les secteurs A et B d'une part et l'aménagement du duis sur le secteur C ont de fortes implications sur les composantes de l'écosystème :

- La suppression, la réduction ou l'arasement des épis envisagés permettront la **diversification des habitats**, le lit du fleuve étant moins artificiel et moins homogène / uniforme (intervention sur les chevrettes et diversification des habitats dans les bras secondaires).
- **Les corridors écologiques seront améliorés** grâce à une meilleure connexion entre le lit principal et les annexes de la Loire. Cela concerne par exemple, la submersion plus fréquente des bras secondaires. Les habitats naturels seront ainsi moins fragmentés, au bénéfice de nombreuses espèces animales et végétales. **La meilleure alimentation en eau des annexes fluviales** permettra aussi de conforter ou de diversifier ces milieux humides et les fonctions qu'elles exercent vis-à-vis des populations d'espèces (zones refuges, sites de reproduction, territoire d'alimentation…) et **contribuera à préserver la qualité de l'eau du fleuve**.
- Les interventions envisagées modifieront par définition le fonctionnement hydromorphologique de la Loire qui aura des répercussions sur les conditions d'implantation de certains habitats et leur utilisation par certaines espèces. **Les milieux et les espèces, végétales et animales, évolueront donc naturellement pour s'adapter à la Loire**. Ainsi, les nouveaux mouvements du chenal d'étiage, la mobilité des bancs de sable ou encore l'immersion plus fréquente de certains secteurs engendreront une modification ou une migration de certains habitats, de la même façon que ces habitats avaient évolué suite à l'abaissement généralisé des lignes d'eau d'étiage au 20e siècle. Le projet contribue donc à **augmenter la résilience de la Loire**, dans toutes ces composantes.

Le programme de rééquilibrage doit permettre d'améliorer le fonctionnement biodynamique de la Loire et augmenter sa résilience, dans toutes ses composantes, face au changement climatique notamment.

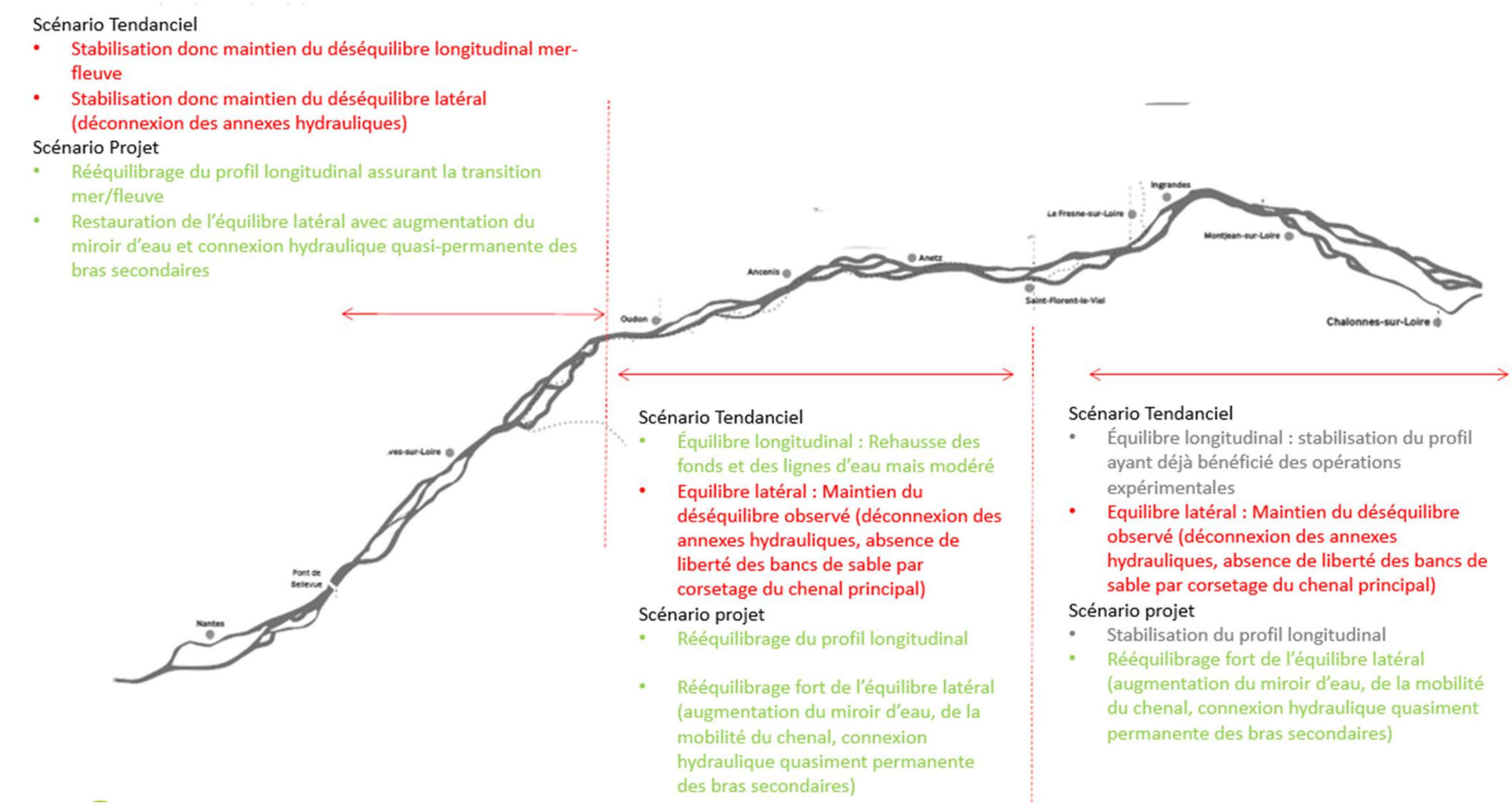


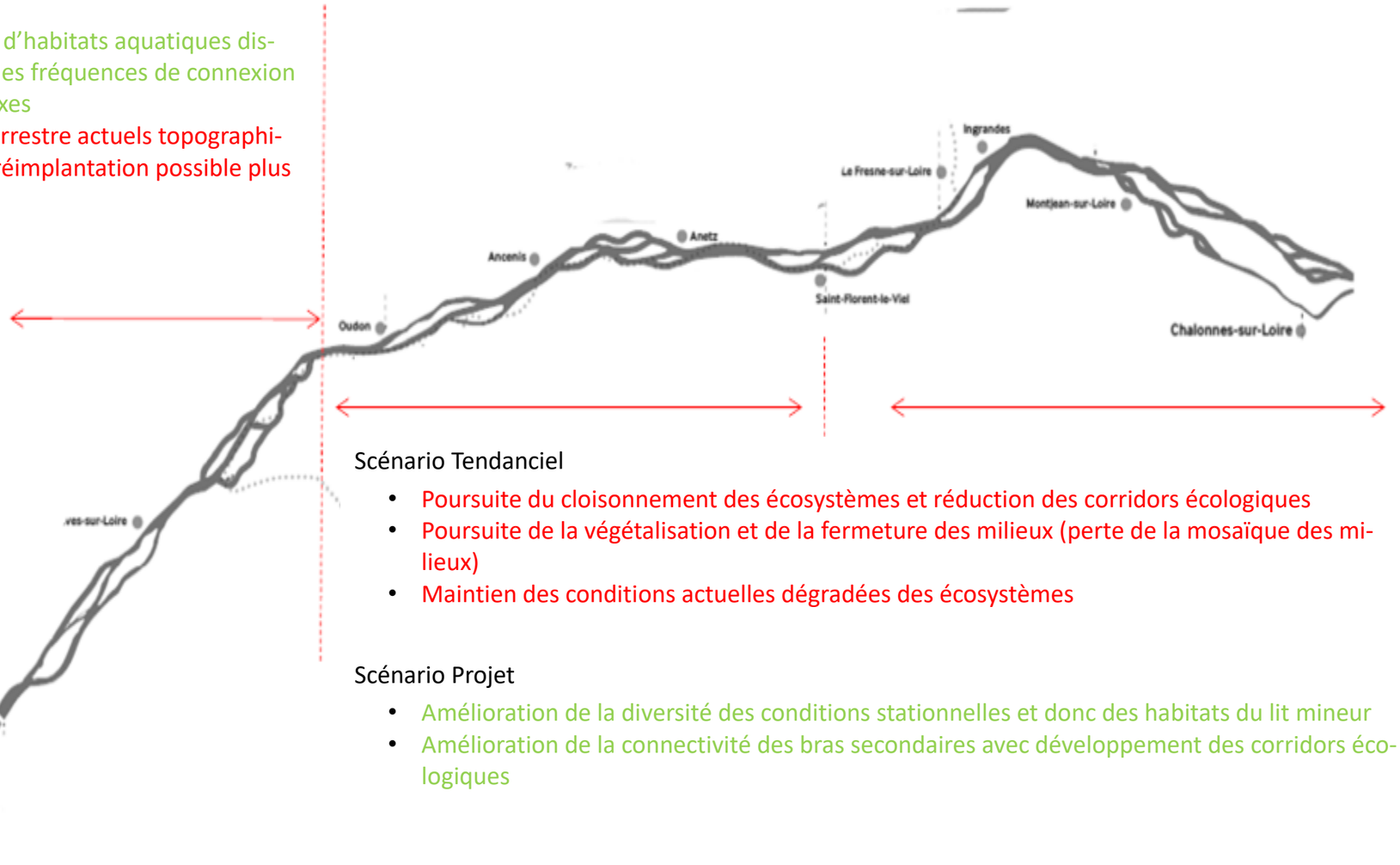
Figure 24 : Synthèse des évolutions à terme sur le milieu physique, avec et sans projet de rééquilibrage

Scénario Tendanciel

- Maintien de la déconnexion des annexes

Scénario Projet

- Augmentation des surfaces d'habitats aquatiques disponibles et augmentation des fréquences de connexion du lit mineur avec ses annexes
- Ennoiement des habitats terrestre actuels topographiquement les plus bas avec réimplantation possible plus haut sur la berge



Scénario Tendanciel

- Poursuite du cloisonnement des écosystèmes et réduction des corridors écologiques
- Poursuite de la végétalisation et de la fermeture des milieux (perte de la mosaïque des milieux)
- Maintien des conditions actuelles dégradées des écosystèmes

Scénario Projet

- Amélioration de la diversité des conditions stationnelles et donc des habitats du lit mineur
- Amélioration de la connectivité des bras secondaires avec développement des corridors écologiques

Figure 25 : Synthèse des évolutions à terme sur le milieu biologique, avec et sans projet de rééquilibrage

4. Justification du projet retenu

4.1 Historique des études menées

De nombreuses études antérieures à l'étude stratégique conduite par le GIP LE avaient analysé la faisabilité de solutions visant à relever les niveaux d'étiage.

Le programme de rééquilibrage du lit de la Loire résulte de nombreuses années d'études démarrées dans les années 90 et ayant permis d'analyser l'ensemble des solutions envisageables sur le plan technique, et vis-à-vis des divers impacts qu'elles sont susceptibles d'entrainer par ailleurs.

La confrontation de ces différentes solutions avec les autres enjeux présents en Loire d'une part et le lancement d'études hydrosédimentaires approfondies d'autre part, a ainsi conduit à éliminer certaines solutions et à mieux préciser les objectifs et les champs du possible en matière de restauration morphologique et de réengravement du lit.

Les études suivantes ont ainsi marqué les principales étapes de la construction du programme final et aidé les acteurs de la Loire à converger vers un consensus sur la stratégie à adopter. D'autres études plus locales ou visant à l'acquisition des données physiques et environnementales ont été menées en parallèle ; elles ne sont pas mentionnées dans un souci de clarté pour le lecteur.

4.1.1. Etude de faisabilité de la remontée de la ligne d'eau entre Nantes et la Maine (SOGREAH 1992).

L'étude a défini, sur les sites de Bellevue et d'Ingrandes, les caractéristiques d'aménagements destinés à faire remonter la ligne d'eau de la Loire. Sur Bellevue, l'intervention consistait à combler le lit du fleuve au moyen de deux massifs en enrochements. Sur Ingrandes, il s'agissait de créer deux seuils successifs en enrochements situés approximativement à l'emplacement des ouvrages expérimentaux du Fresne-sur-Loire. Ces aménagements ont été testés sur modèle hydraulique pour évaluer leur effet sur les niveaux de crue, la transparence piscicole, la navigation, etc.

4.1.2. Modélisation prospective de la Loire Estuarienne (BCEOM/DHI 2000)

L'étude réalisée pour le compte de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et l'Association Communautaire de l'Estuaire de la Loire, portait sur une modélisation prospective de la Loire estuarienne. Elle s'est attachée à comprendre les causes des dysfonctionnements de l'estuaire et à évaluer à l'aide d'un modèle hydrosédimentaire, un certain nombre de solutions pouvant potentiellement améliorer le fonctionnement de l'estuaire. En amont de Nantes, les aménagements étudiés comprenaient la mise en place de 9 seuils et/ou l'enlèvement de 300 épis de navigation correspondant à un volume de 400 000 m3.

4.1.3. Etude de modélisation hydrosédimentaire (DHI 2007)

Cette étude a servi de base à la définition de l'avant-projet de l'opération expérimentale de remodelage des épis entre la Pointe et la Possonnière. Elle s'est appuyée sur l'utilisation d'un modèle bidimensionnel hydrosédimentaire (MIKE 21 C) du bras navigable entre la Pointe et Chalonnes, soit 14 km environ.

4.1.4. Mise en place en 2008-2009 par le GIPLE, du groupe de travail « acteurs-usagers » pour la redéfinition d'un cadre d'objectif et d'intervention pour la reconquête du fleuve

Les représentants du secteur associatif, les usagers, les professionnels, réunis en groupe de travail «acteurs-usagers » ont convenu de la nécessité de restaurer la morphologie du fleuve en vue d'une meilleure satisfaction des usages et des fonctions écologiques : connectivité des boires à l'étiage et aux débits moyens, continuité hydraulique des bras secondaires, transparence migratoire, évacuation des crues, navigation adaptée au fleuve.

Les objectifs de restauration ainsi définis ont constitué la feuille de route pour définir la stratégie de reconquête du fleuve entre les Ponts-de-Cé et Nantes.

4.1.5. Analyse des évolutions morphologiques de la Loire et proposition de pistes d'intervention (Philippe Lefort 2009)

L'étude a été conduite pour le compte du GIP Loire Estuaire, et fait une analyse détaillée des évolutions passées depuis le début du 20ème siècle. Elle précise les poids respectifs des différentes actions anthropiques (ouvrages et aménagements pour la navigation, et extractions dans le lit mineur), sur les évolutions de lignes d'eau anciennes et récentes à partir de l'analyse des données limnigraphiques et des données bathymétriques existantes. L'étude précise dès ce stade, la nécessité de relever la ligne d'eau par l'aval pour effacer l'excès de pente résultant de l'incision de l'estuaire. Elle propose des leviers possibles d'actions, à la lumière de l'expertise hydrosédimentaire réalisée, du travail de concertation engagée (voir alinéa précédent), et des premiers enseignements sur les programmes expérimentaux. Cette étude identifie notamment le site de Bellevue comme le plus pertinent pour accueillir une action de relèvement de la ligne d'eau dans l'objectif de réduire la pente du fleuve en amont.

4.2 L'étude stratégique – les programmes d'actions alternatifs étudiés

La stratégie de reconquête du lit de la Loire a été définie dans le cadre d'une étude pilotée par le GIP Loire Estuaire (2011-2013). Cette étude s'est déroulée en 2 étapes :

- Etape 1 : Analyse du scénario tendanciel, évaluation de différents scénarios d'intervention envisageables et sélection d'un scénario en concertation avec les acteurs et financeurs du Plan Loire ;
- Etape 2 : Déclinaison du scénario retenu en un programme d'actions opérationnel.

4.2.1. Etape 1 de l'étude : Scénario tendanciel et interventions envisageables

Cette étude a identifié l'ensemble des leviers possibles d'intervention dans le lit et analysé les réponses sédimentaires attendues. Les types d'actions analysés ont été les suivants :

- Remodelage des systèmes d'épis (simulation de suppression de l'ensemble des épis)
- Ouverture des bras secondaires (simulation de la suppression de l'ensemble des chevrettes)
- Création de pertes de charges localisées (Bellevue, Ancenis, Cellier, Ingrandes, Alleud)
- La réalisation de seuils à échancrure dans le bras principal
- Les rampes sous-fluviales
- La reprise d'érosion sur les berges

A partir des résultats des simulations de ces différents types d'intervention, les principaux enseignements suivants ont pu être mis en évidence :

- Le retour à l'état du lit existant à la fin du 19ème siècle et correspondant à un lit encore non perturbé par les grands aménagements réalisés à partir du début du 20ème siècle, ne peut être atteint à moyen et long terme avec les leviers d'actions envisagés. Ceci résulte principalement de la modification profonde du lit de la Loire estuarienne entre Nantes et Saint Nazaire, mais aussi d'un déséquilibre général du fleuve observé en amont du secteur d'étude, et qui se traduira par un déficit sédimentaire se prolongeant très certainement pendant de nombreuses décennies.
- Le décorsetage du bras principal réalisé en supprimant les systèmes d'épis est utile mais ne suffit pas à inverser la tendance à l'incision des fonds. Les données disponibles au moment de la réalisation de cette étude stratégique, ainsi que les hypothèses prises, conduisaient à prévoir une poursuite de l'enfoncement du lit. Les observations plus récentes tendent à montrer plutôt une stabilisation, voire une légère réhausse naturelle sur certains secteurs. Cette tendance est toutefois à considérer avec précaution, compte tenu d'un faible recul et elle n'est pas de nature à permettre à elle seule le rééquilibrage du lit. Le rendement sédimentaire de l'opération menée seule n'est pas satisfaisant : en l'absence d'aménagement à Bellevue, sur les 5,5 millions de mètres-cubes (Mm^3) de matériaux libérés, 3,0 Mm^3 transiteraient vers l'aval, le reste se déposerait pour partie dans le bras principal (1,3 Mm^3) et pour l'autre (1,0 Mm^3) dans les bras secondaires.

  En outre, la suppression systématique des épis conduirait à une baisse de la ligne d'eau d'étiage, impactant plusieurs usages : prises et rejets d'eau, pêche et navigation.
- La suppression des épis conduit à une remobilisation des matériaux plus importante en amont d'Oudon qu'en aval. Cela pourrait s'expliquer par l'importance croissante de l'incision en allant vers l'aval conduisant à des bancs davantage perchés et plus difficilement érodables en cas de crue.
- La réouverture des bras secondaires par suppression des chevrettes existantes, contribue très faiblement à la recharge sédimentaire du bras principal. Cela est principalement lié au fait que les chevrettes barrant l'entrée des bras fonctionnent rapidement en régime noyé et deviennent donc transparentes aux écoulements. Par ailleurs le caractère fortement perché de ces bras, réduit les possibilités de reprise sédimentaire.
- Restaurer l'érodabilité des berges par démantèlement des protections existantes peut constituer un moyen d'action complémentaire pour apporter des matériaux dans le lit principal. Cette action générerait malgré tout moins de matériaux que la suppression des épis, d'autant plus que le démantèlement des protections ne peut s'envisager de façon systématique.
- Les épis à radier de type du Fresne-sur-Loire, dans la mesure où ils permettent une surélévation amont des lignes d'eau suffisante (perte de charge de 0.5 m), contribuent à favoriser une dynamique de dépôt en amont et de reprise sédimentaire dans les bras secondaires.
- La création de pertes de charge singulières permettant de réduire les pentes hydrauliques amont, constitue un levier d'action efficace vis-à-vis de la dynamique des dépôts dans le bras principal. Il conviendrait de privilégier essentiellement les aménagements situés dans la moitié aval de l'aire d'étude (aval d'Ancenis). En effet les aménagements situés dans la partie amont contribueraient à piéger une partie du transit solide en amont et à favoriser des reprises d'érosion non désirées en aval.
- Un levier d'action, seul, ne suffit pas à satisfaire les objectifs de restauration.

Dans ce contexte, il est donc apparu nécessaire de considérer une combinaison d'actions répondant aux différences d'évolution par secteur et à des objectifs différentiés de reconquête à moyen terme du lit de la Loire entre les Ponts-de-Cé et l'agglomération nantaise.

A partir de ces premières analyses ont été construits plusieurs scénarios d'actions en respectant les principes suivants :

- Mise en œuvre des leviers contribuant de façon significative au réengravement des fonds et étudiés dans la phase précédente.
- Phasage des actions visant à permettre leur mise en œuvre sur une vingtaine d'années.
- Découpage du secteur en trois zones de travaux correspondant à des dynamiques d'évolution différentiées et mises en évidence dans le scénario tendanciel (hypothèse pessimiste):
  - Secteur amont (La Pointe – Ingrandes). Poursuite de l'incision pouvant atteindre 20 à 30 cm.
  - Secteur médian (Ingrandes – Ancenis). Incision plus prononcée pouvant atteindre et dépasser 50 cm en 40 ans
  - Secteur aval (Ancenis – Oudon – Bellevue). Incision modérée de l'ordre de 10 à 20 cm.

- Programmation des actions différenciées dans l'espace et dans le temps afin d'évaluer respectivement les évolutions intermédiaires des fonds et leur efficacité globale. La construction des programmations a répondu aux logiques suivantes :
    - Priorité d'action sur le secteur le plus vulnérable à l'incision. Il s'agit du secteur médian ;
    - Priorité d'action vis-à-vis d'une logique amont–aval, en considérant que les matériaux doivent être d'abord mobilisés en amont afin de contribuer au réengravement progressif des secteurs aval ;
    - Priorité d'action vis-à-vis d'une logique aval-amont, en considérant que les matériaux remobilisés en aval et contribuant au réengravement local du lit peuvent freiner le processus d'érosion régressive et amorcer un remous solide se propageant de l'aval vers l'amont.

D'autre part la construction de ces programmations s'inscrit dans un objectif à long terme de restauration morphologique du fleuve. Pour cela, des actions structurantes comme celle de l'aménagement de Bellevue et de restauration des seuils du Fresne-sur-Loire ont été évaluées en considérant que les délais nécessaires à la prise de décision puis à la préparation et à la réalisation de ces travaux, ne devaient pas retarder la mise en œuvre d'actions plus consensuelles et moins difficiles à réaliser (reprise des épis, ouverture des bras).

Les différentes programmations ont été simulées sur une période de 70 ans et comparées au scénario tendanciel. La programmation correspondant à un couplage d'actions de remodelage d'épis à l'amont avec une action complémentaire à Bellevue se dégage comme la programmation la plus satisfaisante.

Sur cette base, de nouveaux scénarios ont été simulés pour affiner le programme d'actions : longueur de raccourcissement des épis, cote d'arase des épis, zones d'intervention, bras à rouvrir.

Au final, ce sont plus d'une trentaine de scénarios qui ont été testés au cours de la Phase 1 pour aboutir au scénario d'intervention le plus satisfaisant, validé par les acteurs et financeurs. Sa mise en œuvre est définie sur 2 périodes d'intervention.

L'ensemble de ces études sont disponibles sur le site du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (https://reequilibrage-loire.vnf.fr).

4.2.2. Etape 2 de l'étude : Déclinaison du scénario retenu en un programme d'actions opérationnel

Le scénario d'intervention a été évalué au regard de son efficacité et ses incidences sur les crues, l'environnement (bras secondaires, boires, lit principal, circulation piscicole), accès aux îles, navigation…

Le coût du programme a été évalué et les dispositions constructives ébauchées. Un programme de suivi des actions a été défini, permettant d'identifier les études préalables qui étaient à mener pour dresser l'état initial, puis assurer un suivi pertinent de l'efficacité des actions.

Enfin, la robustesse du programme d'actions a été évaluée en fonction d'hypothèses d'évolution du régime hydrologique (période plus sèche), de l'influence de la charge solide provenant de l'amont ou encore de la surélévation du niveau marin.

Les incertitudes liées au changement climatique ou aux apports de charge solide amont ne remettent pas en cause l'efficacité du programme d'action retenu.

4.2.3. Contenu du programme global de travaux retenus

Le programme global retenu a été scindé en deux phases.

La première phase, objet du présent dossier, est estimée à 42 millions d'euros (M€) TTC en valeur 2015 (études + travaux) et s'appuie sur :

- Une action structurante à Bellevue assurant la transition entre la Loire estuarienne profonde et fortement incisée et le bief amont devant faire l'objet de travaux de restauration du lit. Les travaux consisteront à créer une perte de charge répartie sur plus de 1 km de Loire pour une large gamme de débit. Elle permettra de réduire les pentes hydrauliques amont et favoriser le dépôt des sédiments.
- Des actions de décorsetage du lit (suppression/raccourcissement d'épis, ouverture de bras secondaires) adaptées aux configurations locales et ordonnancées de façon cohérente afin de favoriser les processus de dépôt dans le bras principal.

Trois secteurs sont concernés par la 1ère phase du programme :

- Entre Montjean-sur-Loire et Ingrandes-Le-Fresne-sur-Loire ;
- Entre Anetz et Oudon ;
- A Bellevue, entre Sainte-Luce-sur-Loire et Saint-Julien-de-Concelles

La seconde phase, estimée à 15M€ TTC (valeur 2015) sera enclenchée selon les résultats des suivis menés après travaux de la première phase. Elle comprend les actions suivantes :

- Secteur Oudon-Mauves-sur-Loire : Remodelage des épis
- Secteur St Florent-Anetz : Remodelage des épis
- Secteur Varades : Travaux d'aménagement du bras de Varades
- Secteur St Georges-sur-Loire : Travaux d'aménagement du bras de St-Georges

4.3 Confortement des choix opérés : Les retours d'expérience

Avant l'élaboration de la stratégie pour la Loire et ses annexes et la définition du programme de rééquilibrage du lit de la Loire, plusieurs opérations expérimentales ont été menées entre les Ponts-de-Cé et Nantes :

- La réalisation des seuils expérimentaux du Fresne-Ingrandes en 2002-2003 (maîtrise d'ouvrage Voies navigables de France).
- L'opération de remodelage des épis entre Chalonnes et La Pointe en 2009 (maîtrise d'ouvrage Voies navigables de France).
- Les opérations de dévégétalisation entre Thouaré-sur-Loire et Ancenis en 2012-2014 (maîtrise d'ouvrage Voies navigables de France).
- Le programme de restauration des annexes fluviales, piloté depuis 2009 par le CORELA (Conservatoire Régional des Rives de la Loire et de ses Affluents), devenu aujourd'hui le Conservatoire d'espaces naturels des Pays-de-la-Loire (CEN)

Ces opérations ont fait l'objet de suivis scientifiques et permettent d'avoir depuis plus de 15 ans des retours d'expérience sur l'efficacité des opérations et l'évaluation de leurs effets. Les suivis ainsi engagés ont également contribué à améliorer les connaissances sur le fonctionnement de la Loire et à orienter les choix réalisés pour les actions futures.

4.3.1. Seuils expérimentaux du Fresne-sur-Loire et d'Ingrandes

Des « seuils à échancrure » ont été construits en 2002 - 2003 dans les objectifs suivants :

- Relever le niveau d'étiage de 50 cm.
- Assurer une meilleure alimentation hydraulique du bras secondaire de Cul-de-Bœuf et de la boire de Champtocé.
- Favoriser le processus de dépôt de sable en amont des ouvrages pour remonter le fond du lit.

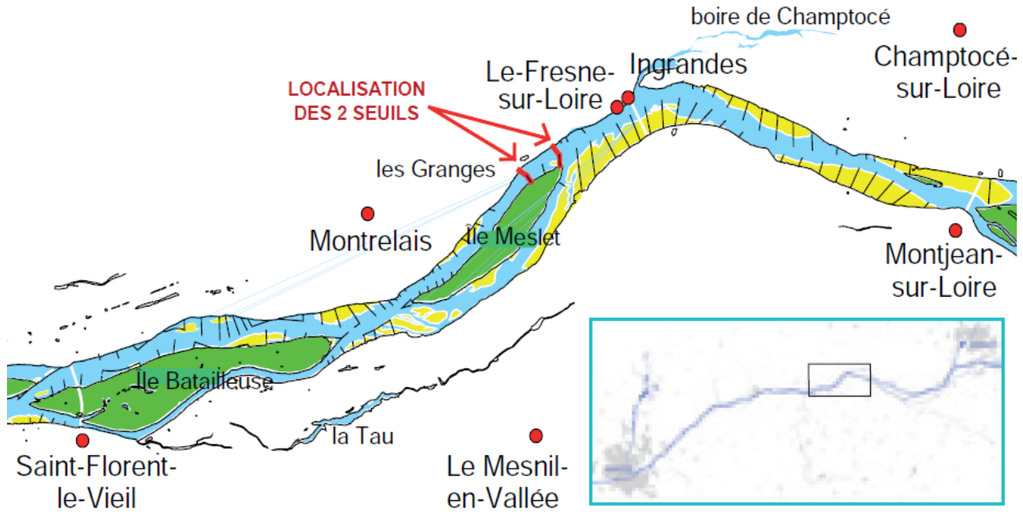


Figure 26 : Localisation des seuils du Fresne (source GIP LOIRE ESTUAIRE)

Figure 27 : Les seuils à échancrures du Fresne (source GIP Loire Estuaire)

L'ensemble des éléments relatifs au suivi des seuils du Fresne est disponible auprès du GIP Loire Estuaire et sur le site internet du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (https://reequilibrage-loire.vnf.fr).

Un suivi des effets et impacts de cette expérimentation a été mis en œuvre sur 3 ans entre 2001 et 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.

Il comportait les thèmes listés ci-contre.

La démarche a été encadrée par un comité technique de suivi et un comité consultatif local.

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 PEUPLEMENTS
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

Figure 28 : Contenu du suivi expérimental pour les seuils du Fresne (source GIP LOIRE ESTUAIRE)

Les suivis ont contribué à une meilleure connaissance du fonctionnement de la Loire malgré une insuffisance sur le thème du transport sédimentaire.

Les objectifs assignés aux seuils ont été globalement atteints. Les écarts constatés par rapport aux objectifs résultaient de l'hydrologie de la Loire, peu favorable à des remaniements importants lors des années de suivi : par exemple, l'érosion du bras de Cul-de-Bœuf a été 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 ont été de fait difficilement interprétables, surtout pour la végétation dont le temps de réponse est plus long.

Grâce au suivi des effets de l'opération et une campagne bathymétrique réalisée en 2009-2010, il a été montré que les objectifs hydrauliques avaient globalement été atteints. Une meilleure répartition des débits et une rehausse de la ligne d'eau d'étiage ont été constatés.

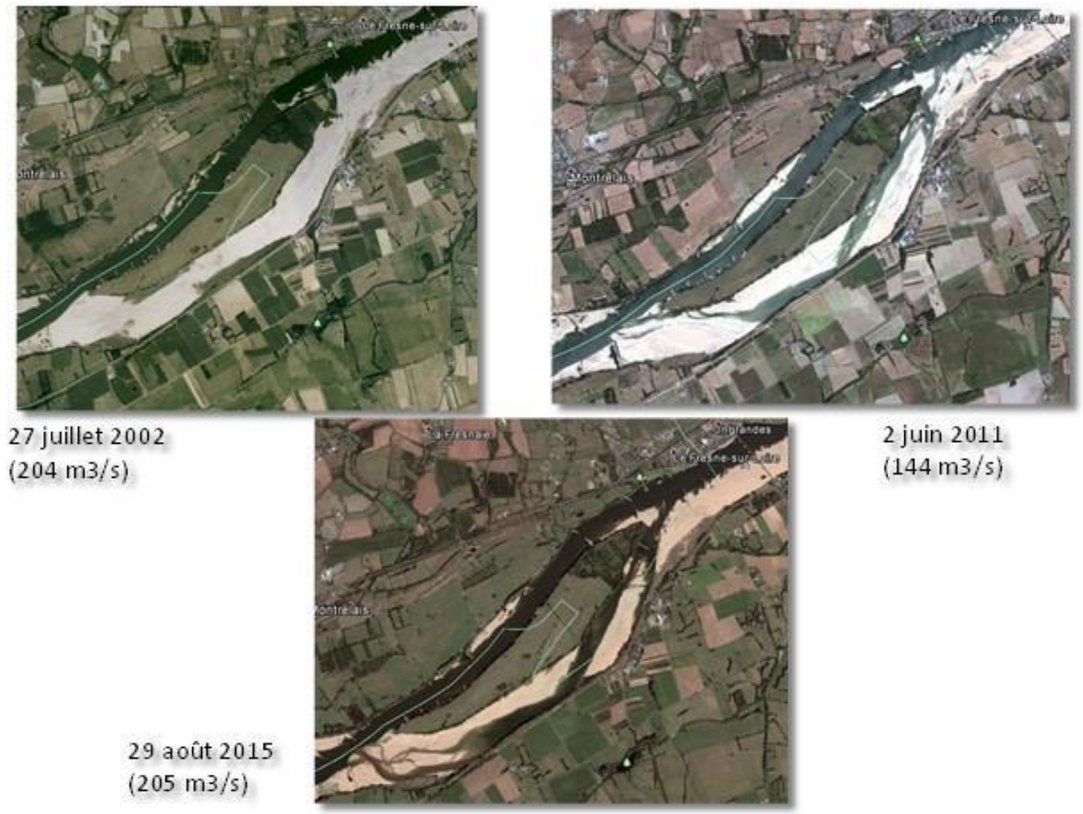


Figure 29 : Evolution du bras de Cul-de-Bœuf suite à la mise en place des seuils expérimentaux (source : géoportail)

Ces seuils, installés dans le cadre d'une expérimentation, avaient été conçus pour être « temporaires ». Ils ont donc été constitués d'une embase en enrochements surmontée de boudins en géotextile remplis de sable. Les ouvrages ont subi des dégradations : l'échancrure de l'ouvrage amont s'est élargie, ce qui a réduit l'importance du relèvement de niveau d'eau à l'amont.

Les enveloppes géotextiles arrivant pour certaines en fin de vie, il était nécessaire de mettre un terme à l'expérimentation par le retrait de leur partie supérieure amovible. Ces travaux ont été réalisés en 2017.

Les résultats du suivi de cette première opération ont été positifs sur les effets constatés et ont été utiles pour la définition du programme d'actions et notamment pour les actions de réouverture des bras secondaires. Il a également été retenu de cette expérimentation que le suivi doit s'inscrire dans le temps long pour une meilleure analyse des évolutions morphologiques.

4.3.2. Opération expérimentale de remodelage des épis entre la Pointe et Chalonnes-sur-Loire

Cette opération expérimentale visait à abaisser et raccourcir les épis afin de libérer une partie du sable piégé entre les épis pour qu'il puisse se déposer dans le lit et faire ainsi remonter la ligne d'eau. Les travaux ont été réalisés en 2009 sur un linéaire d'une dizaine de kilomètres. Quatre-vingts épis environ ont été remodelés (raccourcis et/ou abaissés) suivant une technique mixte associant :

- Un raccourcissement de la longueur de l'ouvrage sur les 2 rives permettant d'élargir le chenal de 50 m au maximum.
- Un abaissement de la hauteur de l'épi de l'ordre de 50 cm.

Sur les secteurs où les tirants d'eau sont critiques à l'étiage, un abaissement des ouvrages a été privilégié.

Suivi sur 5 ans de l'expérimentation

Le suivi de l'efficacité de l'opération sur 5 ans après travaux a donné les enseignements suivants :

- De forts mouvements sédimentaires, avec alternance de sédimentation et d'érosion, se produisent aussi bien dans le lit que sur les grèves. Les sédiments stockés dans les grèves ont bien été remobilisés entre 2009 et 2014.
- L'opération a produit une tendance effective de rehausse de ligne d'eau de 20 à 30 cm pour les débits inférieurs à 250 m3/s. Cette tendance doit être analysée avec prudence étant donnée la précision d'outils de mesures de 10 à 15 cm mais les effets sont considérés globalement positifs.
- Le suivi a mis en évidence une incidence jugée neutre sur l'environnement.

Données plus récentes sur l'évolution de ce secteur

Le GIP Loire estuaire a réalisé une étude d'exploitation de données hydrologiques et topographiques dans le but d'alimenter les indicateurs de suivi et d'évaluation sur la Loire de Montsoreau à Nantes (rapport ISL de décembre 2018)

Plusieurs indicateurs ont été analysés dont le « miroir d'eau ». Le différentiel de surface de miroir d'eau a été analysé pour différentes dates et tronçons. Les premiers résultats montrent une augmentation significative de la surface du miroir d'eau dans le secteur de remodelage expérimental de Bouchemaine et Chalonnes, sur le secteur Possonnière/la Pointe. Ces premiers éléments traduisent les résultats positifs de l'expérimentation.

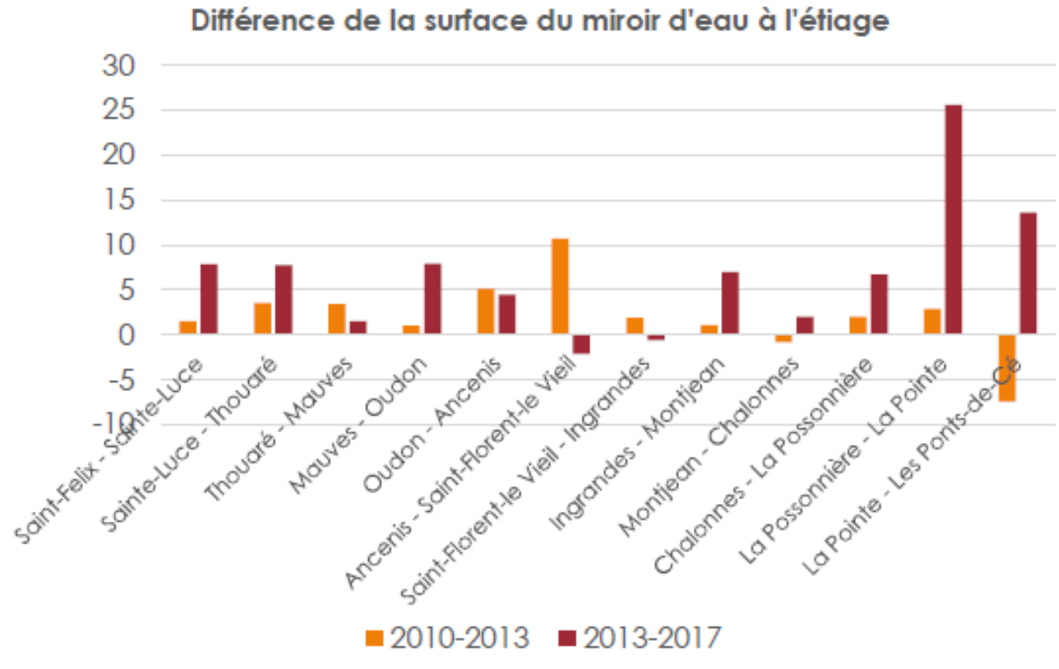


Figure 30 : Différence de la surface de miroir d'eau à l'étiage (source : étude ISL, GIP LOIRE ESTUAIRE 2018)

Les résultats du suivi de cette opération expérimentale ont été utiles pour les effets hydrosédimentaires. Les objectifs recherchés sur les critères « ligne d'eau », « recharge sédimentaire » et « miroir d'eau » ont été respectés.

4.3.3. Dévégétalisation des bras

Voies navigables de France, en tant que gestionnaire du domaine public fluvial, a également engagé en 2012 une opération de dévégétalisation dans le bras navigable de la Loire et certains bras secondaires. Cette opération, programmée sur 3 ans, sur plusieurs sites entre Ancenis et Nantes, possédait un triple objectif :

- Redonner au lit sa pleine capacité hydraulique pour une évacuation efficace des crues.
- Lutter contre l'incision du lit en élargissant la section hydraulique.

  Constituer des travaux préparatoires aux actions prévues dans le cadre du programme d'actions

4.3.4. Synthèse des différentes opérations expérimentales

Le tableau page suivante présente une synthèse de ces retours d'expériences

Tableau 1 : Synthèse des retours d'expérience réalisés par VNF

	Opération	Années	Description	Objectifs	Bilan	
					positif	négatif
Plan Loire I	Chantier expérimental de Nantes-Oudon	1995-1997	Travaux de dévégétalisation localisés et de recreusement de rigolets pour restaurer les écoulements et favoriser la diversité des faciès	Définir une méthode de restauration et d'entretien pour faciliter l'écoulement des eaux en période de crue, reconstituer des milieux plus favorables à la vie aquatique, tout en contribuant à la réouverture du paysage aquatique dans le lit de la Loire et au retour d'un fonctionnement naturel du fleuve.	Efficacité du rigolet pour la diversification des faciès écologiques et pour la remobilisation des sédiments à terme. Écoulements facilités en cas de crue Non diminution de la diversité biologique sur le site	Dévégétalisation des grèves et épis insuffisante Entrée du rigolet non fonctionnelle pour des débits faibles de la Loire et comblement rapide.
Plan Loire II	Programme de « Relèvement de la ligne d'eau d'étiage »	2000-2006	- Test en grandeur nature de l'impact de seuils au Fresnes-sur-Loire	Relever la ligne d'eau d'étiage d'environ 50 cm Remobiliser les sédiments accumulés entre les épis pour « nourrir » le fleuve. Favoriser le processus de « remous sédimentaires » pour remonter le fond du lit en amont des seuils. Suivre les effets des aménagements pendant 4 ans pour disposer d'un retour d'expérience « grandeur nature ».	Impact réel sur le niveau d'étiage : relèvement de 50 cm en amont et effet perceptible jusqu'à Montjean, 5 km en amont. Meilleure répartition des débits entre le chenal et le bras de Cul-de-Bœuf, ainsi mieux alimenté. Aucun impact relevé sur la faune et la flore.	Le fort courant dans l'échancrure perturbe la navigation en étiage et l'ouvrage s'intègre mal dans le paysage. Un peu moins de 15 ans après leur mise en œuvre, les ouvrages sont dégradés et n'assurent plus complètement leur fonction. Les boudins en géotextile ont été démontés en 2017.
Plan Loire III	Expérimentation de remodelage des épis entre Chalonnes et La Pointe (suite du Plan Loire II)	2007-2010	Arasement des épis (environ 0,50m) et/ou au raccourcissement de ces derniers. 109 épis concernés.	Remobiliser les sédiments piégés entre les épis pour « nourrir » le fleuve et ainsi contribuer au relèvement de la ligne d'eau d'étiage (0,25m environ).	Tendance au rehaussement de la ligne d'eau en étiage de 20 à 30 cm. Amélioration de la connexion de la boire de la Ciretterie. Absence d'impact sur l'environnement et les usages	En 2016, un tirant d'eau inférieur à 0,80m est observé aux Lombardières (0,60m) selon le personnel VNF du centre d'exploitation de Montjean.
	Dévégétalisation	2011-2015	Travaux de dévégétalisation localisés sur les bancs de sable à remobiliser lors des actions de décorsetage	Préparer les actions de décorsetage du lit de la Loire en amont de Nantes, dans l'objectif de rétablir une dynamique du fleuve proche de l'équilibre aux plans hydraulique et sédimentaire en : - améliorant les écoulements aux débits morphogènes - mettant à nu totalement, ou partiellement, les stocks sédimentaires stratégiques entre Nantes et Ancenis dans l'objectif d'une remobilisation ultérieure		Seules 3 interventions sur 15 ont été réalisées. Suite aux échanges avec les services de l'Etat sur la base des dossiers réglementaires réalisés, il a été demandé d'attendre la réalisation des actions de remodelage des épis avant d'intervenir sur la végétation si cela s'avère nécessaire.

5. Caractéristiques détaillées du projet sur les secteurs A et B et justification des variantes techniques d'aménagement

5.1 Objectifs généraux du remodelage d'épis

Sur les secteurs A et B, les travaux de remodelage des épis et chevrettes visent conjointement les objectifs suivants :

- Redonner un plus grand espace de mobilité au chenal d'étiage ;
- Remobiliser les sédiments piégés entre les épis ;
- Élever le niveau des fonds du bras principal ;

Les travaux visent également à favoriser la submersion plus fréquente des bras secondaires :

- Sur le secteur A, le bras de Cul-de-Bœuf.
- Sur le secteur B, tous les bras secondaires et spécifiquement celui de l'ile Neuve-Macrière.

5.2 Secteur A : variantes étudiées et description des travaux retenus

5.2.1. Emprise des travaux étudiés

Les études préliminaires ont permis de définir une emprise des travaux entre le PK 117 à l'amont et le PK 103 à l'aval. Plusieurs scénarios ont été étudiés sur le secteur. Ces derniers sont décrits dans la suite du présent document.

L'emprise totale du secteur A s'étend donc environ sur 14 km de cours d'eau.

5.2.2. Scénarios étudiés et justification du choix

Deux scénarios ont été étudiés sur ce secteur, présentant chacun des variantes :

- Le scénario A consiste à n'intervenir que sur les boudins géotextiles expérimentaux au droit de la confluence avec le Bras de Cul-de-Boeuf (boudins enlevés à ce jour) ;
- Le scénario B implique des actions de remodelage des épis sur les bancs d'épis situés en amont en plus de l'enlèvement des boudins. Dans ce cas, les actions s'étendent jusqu'à Montjean-sur-Loire

Enlèvement des géotextiles - scénarios A (avec 2 variantes, A1 et A2)

Les scénarios testés ont été les suivants :

- Scénario A1 : Retrait des boudins des deux ouvrages en entrée du bras nord de l'île Meslet, Le tapis d'enrochements sous les boudins et le radier de fond est conservé (non érodable).
- Scénario A2 : Reprise du scénario 1 mais avec raccourcissement des 4 épis situés en amont de l'île Meslet en rive gauche pour compenser le retrait des boudins et conserver un écoulement dans le bras de Cul de Bœuf.

Enlèvement des géotextiles et remodelage des épis amont – scénario B (4 variantes)

Les scénarios B ont tous pour base le scénario d'aménagement A1 : retrait des boudins. La différence entre les scénarios B s'opère sur le remodelage des épis amont. Les 4 variantes du scénario B testées sont décrites ci-après.

- Variante B0 et B0bis : enlèvement des épis du banc situé dans l'intrados du méandre d'Ingrandes. La variante B0 bis a également été testé dans la même optique et comprenait l'enlèvement de l'ensemble des épis des 4 bancs étudiés.
- Variante B1 : arasement de certains épis situés entre les deux ponts de façon à mobiliser une partie des sédiments présents sur les grèves (mobiliser les sables des grèves sans effet significatif sur leur position longitudinale et sur la largeur du chenal)
- Variante B2 : certains épis sont supprimés ou raccourcis pour tenter de redonner une mobilité longitudinale aux bancs et également une certaine mobilité au chenal principal (mobiliser les sables des grèves avec effet sur leur position longitudinale et sur la largeur du chenal)
- Variante B3 : variante B2 avec raccourcissement des épis conservés des deux premiers bancs.

Une analyse comparative pour définir le scénario et sa variante

Le choix du scénario et de sa variante retenue s'est appuyé sur l'analyse comparative de différents critères :

- Maintien de la dynamique actuelle dans le bras de Cul de Bœuf
- Amélioration de la valeur environnementale du secteur et contribution au programme global à l'échelle de la Loire aval
- Maintien des niveaux d'eau à l'étiage sur la Boire de Champtocé
- Maintien voire amélioration du fonctionnement de la plage de Mesnil en Vallée
- Maintien du niveau de sécurité actuel de la digue de Montjean vis-à-vis des sollicitations hydrauliques en pied d'ouvrage
- Réduction des sollicitations sur les berges lorsqu'un enjeu est identifié
- Maintien de la navigation dans des conditions acceptables

Le tableau ci-après présente la synthèse de l'analyse :

Tableau 2 : Synthèse de l'analyse des variantes d'aménagement du secteur A

Critère	Synthèse
Maintien de la dynamique actuelle dans le bras de Cul de Bœuf	Les scénarios A2 et B0 démontrent que la plus grande liberté donnée au fleuve à l'aval du pont d'Ingrandes va dans le sens d'une alimentation du bras de Cul de Bœuf. La chronique 2010-2013 est cependant trop courte pour juger de la répartition à long terme
Amélioration de la valeur environnementale du secteur et contribution au programme global à l'échelle de la Loire aval	Les scénarios B permettent de mobiliser davantage les sables des bancs d'épis sans qu'une quantification ne soit possible sur la période 2010-2013.
Maintien des niveaux d'eau à l'étiage sur la Boire de Champtocé	Les scénarios B ont pour conséquence une translation de la mouille vers l'aval. En ce sens, l'effet est positif sur la connexion de la boire de Champtocé.
Maintien voire amélioration du fonctionnement de la plage de Mesnil en Vallée	Le scénario B0bis montre une très forte érosion du banc de sable de la plage de Mesnil en Vallée et ne permet pas de garantir son maintien. Le maintien des épis amont et aval de la plage protège le site.
Maintien du niveau de sécurité actuel de la digue de Montjean vis-à-vis des sollicitations hydrauliques en pied d'ouvrage	L'affouillement et les vitesses en pied évoluent peu. Il est cependant nécessaire de simuler une chronique plus longue pour s'en assurer. La conservation des épis en rives est une mesure de précaution.
Réduction des sollicitations sur les berges lorsqu'un enjeu est identifié	Les scénarios B atténuent les érosions au droit de la prairie Bruneau et les reportent à l'aval où le poudingue est présent. Concernant l'île Buisson, une simulation sur une longue chronique est nécessaire pour estimer l'évolution du bras droit.
Maintien de la navigation dans des conditions acceptables	La marge de manœuvre est grande par rapport au chenal actuel dans une phase d'ajustement. Même le scénario B0bis (enlèvement de tous les épis) conserve une hauteur minimale d'1 mètre. Il convient néanmoins de vérifier l'évolution par des simulations à long terme.

➔ **Choix et justification du scénario retenu**

Le choix réalisé à l'issue de l'analyse comparative s'est donc porté sur la variante B3 qui constitue un scénario ambitieux. Ses principes sont les suivants :

- Remodelage des épis à l'aval du pont d'Ingrandes conformément au scénario A2 ;
- Abaissement des épis selon le scénario B1 ;
- Suppression des épis d'extrémité de banc selon le principe du scénario B2 ;
- Réduction systématique des épis longs.

Le scénario retenu répond aux objectifs du projet au vu des différentes modélisations hydro-sédimentaires réalisées dans le cadre des études.

5.2.3. Caractéristiques du scénario retenu

Sur le secteur, 4 groupes d'épis ont été définis. Le remodelage ou le maintien de chaque épi a été évalué afin de répondre au mieux aux objectifs. La carte suivante présente la localisation des bancs et les emprises travaux. Elle est accompagnée d'un tableau détaillant les interventions par groupe d'épis.

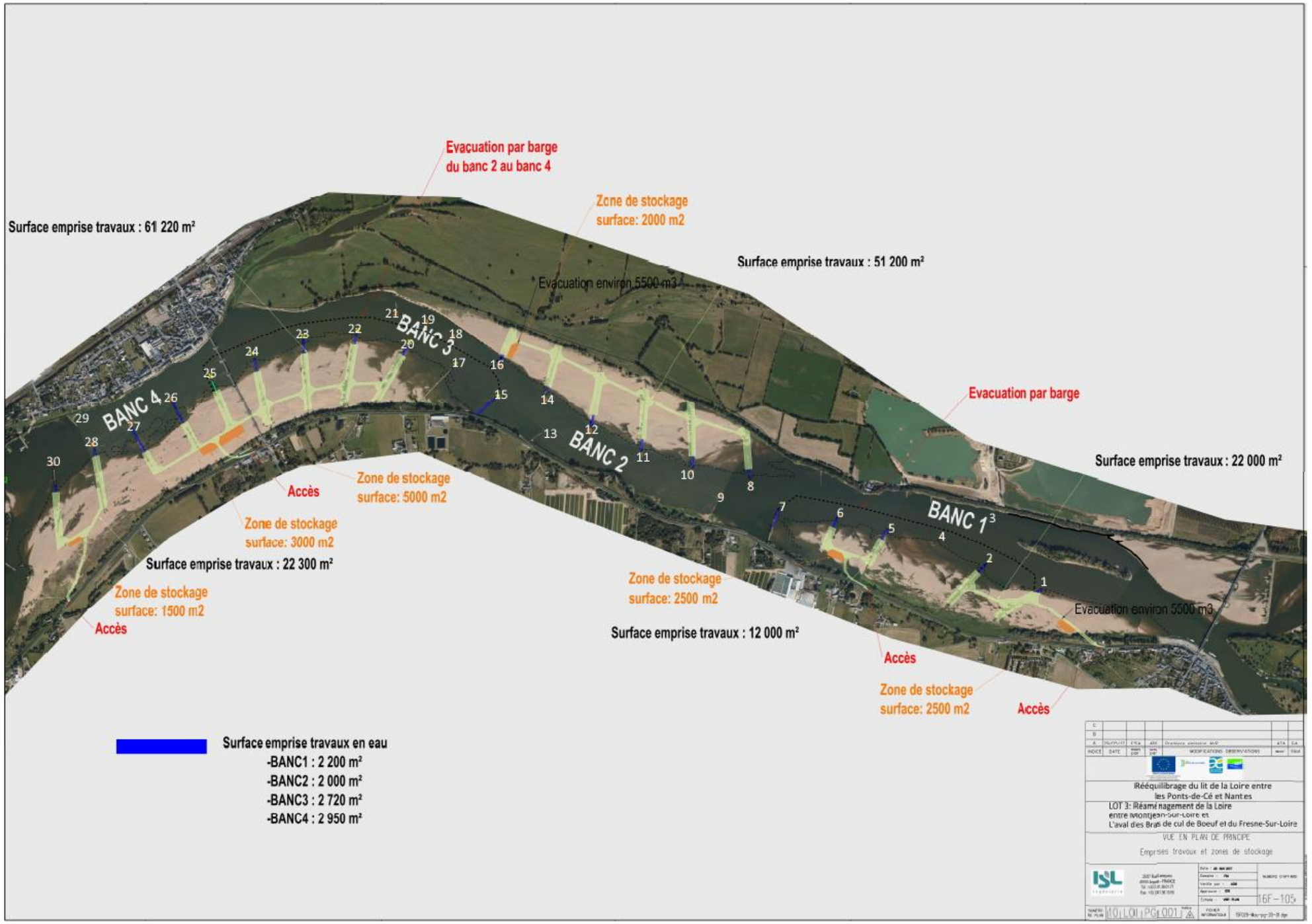


Figure 31 : Emprise des travaux sur le secteur A, scénario retenu B3 (source : AVANT PROJET ISL)

Tableau 3 : Actions sur les épis par banc secteur A (source : AVP ISL)

Banc	Actions sur les épis
1	Les épis 1, 6, 7 sont supprimés sauf les 80 premiers mètres pour protéger les berges et la levée. La partie supprimée de ces épis est traitée à 80 % par voie terrestre, le reste par voie fluviale. L'épi 4 ne fait pas l'objet de travaux du fait d'une altimétrie déjà basse. Les 50 m de raccourcissement des épis 2, et 5 sont traités par voie fluviale, la partie abaissée par voie terrestre.
2	Les épis 8, 14, 16 et 18, 19, 21 sont entièrement supprimés. L'épi 8 est traité à 50 % par voie fluviale et par voie terrestre. Les 50 m de raccourcissement des épis 10, 11 et 12 sont traités par voie fluviale, la partie abaissée par voie terrestre. L'ancrage de l'épi 11 fait l'objet d'une reprise. La suppression des épis14 et 16 est traitée à 80 % par voie terrestre, le reste par voie fluviale.
3	L'épi 15 est entièrement supprimé par voie fluviale. Les 50 m de raccourcissement des épis 20, 22, 23 et 24 sont traités par voie fluviale, la partie abaissée par voie terrestre.
4	La tête de l'épi 25 fait l'objet d'une reprise. La partie supprimée de 26 est traitée à 70 % par voie terrestre, le reste par voie fluviale. La partie supprimée de 27 est traitée à 60 % par voie terrestre, le reste par voie fluviale. La partie supprimée de 28 est traitée à 50 % par voie terrestre, le reste par voie fluviale. La partie supprimée de 30 est traitée à 40 % par voie terrestre, le reste par voie fluviale.
Tous	Les autres épis présents sur le secteur de travaux et non mentionnés ci-dessus sont conservés en l'état.

5.2.4. Accès et emprises

Les travaux se feront à la fois par voie terrestre (partie émergée des épis) et par voie fluviale (partie submergée des épis et points durs). La répartition de la part terrestre ou fluviale est à ce stade estimative (voir carte page précédente). La définition précise de l'organisation du chantier sera réalisée directement avec l'entreprise, dans le respect des règles et mesures édictées dans le présent dossier d'autorisation.

Pour les bancs 1, 3 et 4 des descentes existent et devraient permettre facilement aux entreprises de descendre son matériel et réaliser les travaux par voie terrestre en circulant sur les bancs.

Pour le banc 2 en rive droite, l'entrepreneur débarquerait son matériel par voie fluviale pour réalisation des travaux terrestres.

Pour les travaux réalisés par voie fluviale et l'accès au banc 2, une zone de mise à l'eau des engins nautiques peut être envisagée depuis la cale du Fresne-sur-Loire, depuis celle d'Ingrandes ou depuis la grève de Mesnil-en-Vallée.

Par commodité et pour éviter de trop circuler dans le bourg d'Ingrandes, l'évacuation des matériaux devrait se faire depuis les bancs 1 et 4, puis par la RD210.

>> La finalisation de l'organisation du chantier, sera réalisée directement avec l'entreprise qui sera retenue pour réaliser les travaux, dans le respect des règles et mesures édictées dans le présent dossier d'autorisation et en concertation avec les communes concernées. Cela concerne notamment la définition précise des accès, des zones de dépôt temporaire et des circulations des engins.

Les emprises évaluées pour le chantier au stade AVP sont les suivantes :

- La surface des travaux en eau est d'environ 10 000 m².
- Les zones de stockage temporaire représentent une surface de 16 000 m² environ.
- Les zones d'emprise qui comprennent les secteurs de passage des engins, les zones de stockage temporaire et les surfaces d'épis concernées représentent une surface de 160 000 m² environ.

Ces emprises seront affinées au stade projet détaillé (PRO), qui doit préciser les modalités techniques d'exécution des travaux.

5.2.5. Estimation des types, des quantités de résidus et des émissions attendues

Les travaux de suppression et remodelage d'épis généreront un excédent de matériaux à évacuer ; les volumes concernés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Volumes de matériaux à évacuer sur le secteur A (source AVP ISL)

Bancs d'épis	Enrochements à évacuer (m^3)
b1	3 361
b2	6 015
b3	3 840
b4	3 271
Total :	16 487

5.3 Secteur B : variantes étudiées et description des travaux retenus

5.3.1. Emprise des travaux étudiée

Les études préliminaires ont permis de définir une emprise des travaux entre le PK100 (Anetz) et le pK82 (pont d'Oudon). Plusieurs actions ont été simulées et comparées sur ce secteur (voir partie suivante).

Suite aux études d'avant-projet, la zone d'étude a ensuite été étendue à l'aval, jusqu'au PK 79, afin d'éviter tout risque d'érosion dans le secteur bordé par la voie ferrée. Plusieurs scénarios d'aménagement ont également été testés dans cette zone.

L'emprise totale du secteur B s'étend donc environ sur 21 km de cours d'eau.

5.3.2. Solutions étudiées et justification du choix

Entre les PK 100 et 79, plusieurs actions permettant la mise en œuvre des aménagements sur le secteur B ont été étudiées. Les actions concernent :

- Le remodelage d'épis
- La modification des ouvrages à l'entrée du bras de l'île Neuve-Macrière et en sortie
- Le creusement d'un chenal pilote dans le bras de l'Ile Neuve-Macrière

Afin de bien cerner l'impact de chaque intervention sur le secteur, ces actions ont été combinées et testées successivement via la modélisation numérique à long terme (40 ans) :

Tableau 5 : Simulations successives effectuées pour la définition de la solution (AVP Artelia)

Nom	Description de la solution	Levier étudié
1a	Remodelage épis dont raccourcissement épis de moitié	épis
1b	Remodelage épis dont raccourcissement épis chenal 150 m	
2	1b + suppression chevrette Neuve Macrière	Amont bras secondaire Neuve-Macrière
3	1b + maintien intact des structures amont du bras de NM	
4	1b + arasement des structures amont du bras de NM (sans raccourcissement)	
5	1b + remplacement des structures amont du bras de NM par duits	
6	1b + démantèlement partiel de la chevrette (maintien épis)	
7	1b + démantèlement plus complet de la chevrette (suppression d'un épi)	
8	1b + non arasement des structures en RD à l'aval du bras de NM	Aval bras NM
9	2 + creusement chenal dans bras de NM	Chenal pilote
10	2 + 8 + modifications au niveau de bras à l'amont d'Ancenis	Scénario complet
11	10 + maintien d'un épi en face du port d'Ancenis	Maintien épi

5.3.2.1 *Pour le remodelage des épis*

Le nombre total d'ouvrages concernés par l'opération est de 103 pour une longueur de cours d'eau d'environ 21 km.

La configuration 1b est efficace (raccourcissement des épis pour création d'un chenal de 150 m de large) et hydrauliquement plus régulière que la configuration 1a qui entraînerait de fortes pentes locales de lignes d'eau (associées à de fortes vitesses). Cette largeur a toutefois été augmentée pour certains secteurs afin d'hétérogénéiser le lit.

Ainsi, un remodelage des épis permettant la création d'un chenal d'une largeur variant entre 140 et 220m a été retenu (ligne d'eau d'étiage rehaussée de 20 à 50 cm) comme solution de base. Il s'agit de la solution mise en œuvre sur l'opération expérimentale de remodelage des épis entre Chalonnes et Bouchemaine.

5.3.2.2 *Modification des ouvrages à l'entrée du bras de l'île Neuve-Macrière*

Différentes configurations pour les structures en enrochement à l'entrée du bras secondaire de l'île Neuve-Macrière (épis transversaux, chevrette et seuil aval) ont été étudiées, de manière à préciser l'impact des différentes modifications possibles de ces structures.

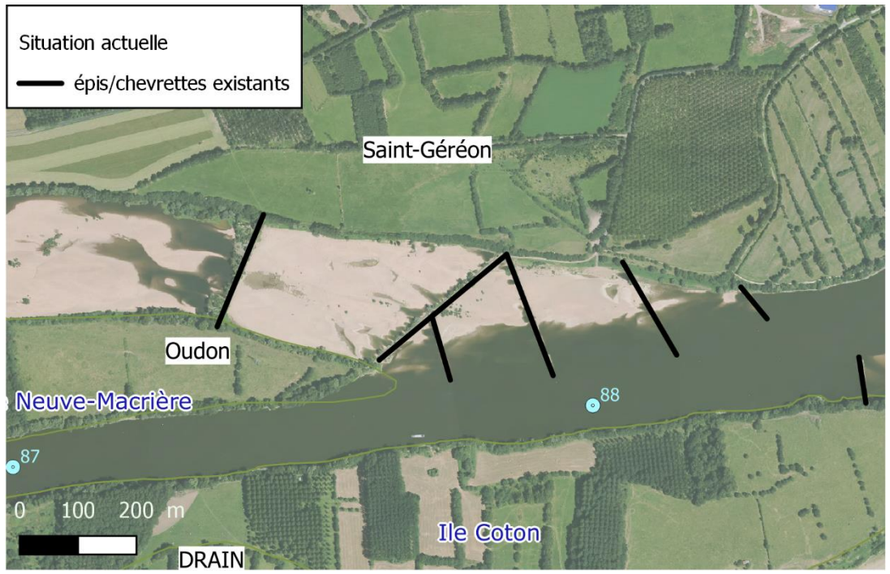
La comparaison de l'évolution des fonds à terme dans les différentes solutions, successivement simulées, permet de mettre en évidence les actions les plus efficaces pour favoriser l'évacuation des sédiments du bras secondaire.

Les principales observations sont les suivantes :

- Solution 2 : L'arasement de la chevrette a un impact très faible d'un point de vue morphologique. Le bras secondaire de l'île Neuve-Macrière s'exhausse ainsi de manière similaire au calcul 1b. Ce n'est donc pas le maintien de la chevrette amont qui explique cette tendance à l'exhaussement du bras secondaire.
- Solution 3 : Le maintien intact des structures amont permet d'obtenir une tendance à l'érosion du bras secondaire.
- Solution 4 : Le maintien des structures amont arasées à la cote de la ligne d'eau d'étiage conduit également à une tendance à l'érosion du bras secondaire, ce qui indique que c'est plus la longueur des épis que leur côté qui a un effet.
- Solution 5 : Le remplacement des structures actuelles par un duit transversal conduit également à une certaine érosion du bras, mais moins efficace que dans les configurations 3 ou 4.
- Le maintien des épis avec leur longueur actuelle permet une contraction plus importante de la section d'écoulement en rive gauche, et donc un transit solide orienté préférentiellement vers le bras principal.

Au regard des modélisations effectuées successivement, les solutions 6 et 7 sont celles qui permettent de maintenir l'orientation du transport solide préférentiellement vers le bras principal, tout en ayant une connexion hydraulique pour des niveaux bas à l'entrée du bras secondaire. La solution 7 a été retenue car elle correspond à un état plus naturel de la Loire et de l'entrée du bras.

CONFIGURATION ACTUELLE



INTERVENTIONS PREVUES

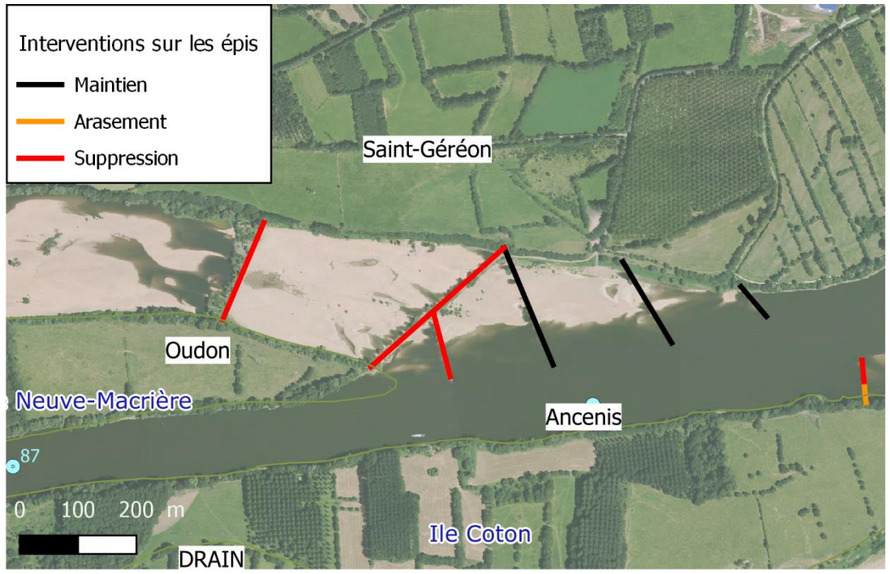


Figure 32 : Configuration actuelle et future des ouvrages à l'entrée du Bras de Neuve-Macrière, secteur B (source Artelia)

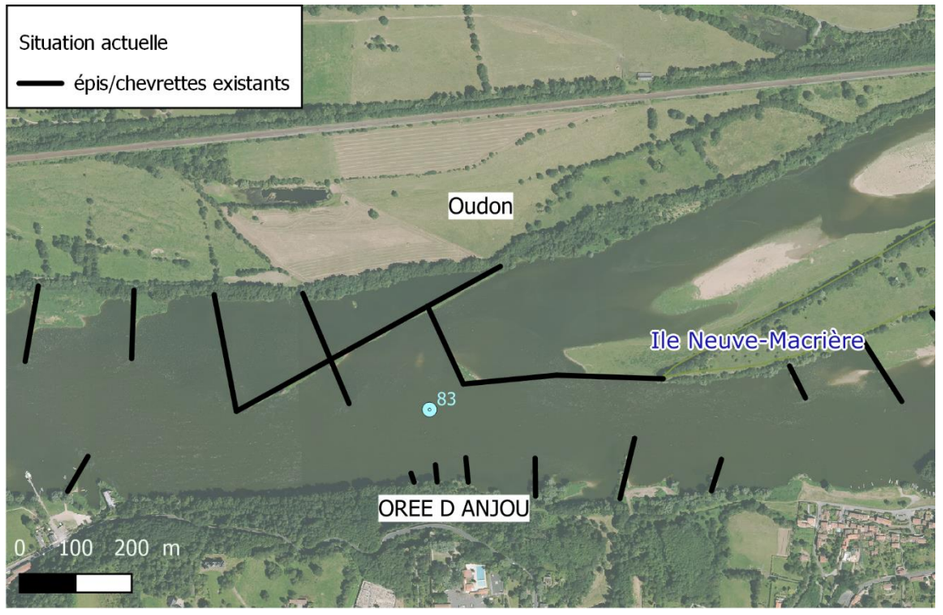
5.3.2.3 *Modification des ouvrages de sortie du bras de l'île Neuve-Macrière*

Dans la configuration de la solution 7, les ouvrages situés en sortie du bras secondaire de l'île Neuve-Macrière étaient traités de la même façon que l'ensemble des épis du secteur (raccourcissement et arasement à la cote d'étiage).

Avec la solution 8 (voir figures page suivante), on cherche à améliorer la configuration des structures en enrochement en sortie du bras secondaire de l'île Neuve-Macrière pour favoriser l'expulsion des sédiments du bras secondaire, en y conservant des vitesses d'écoulement significatives. ***Pour cela, les obstacles transversaux à l'écoulement sont complètements enlevés tandis que les structures longitudinales sont maintenues non arasées, de manière à réduire la section et donc d'accélérer l'écoulement.***

Les objectifs de cette modification du remodelage des épis à la sortie du bras secondaire de l'île Neuve-Macrière sont bien atteints : par rapport aux solutions 1b et 7, la solution 8 permet bien une meilleure expulsion des sédiments du bras secondaire.

CONFIGURATION ACTUELLE



INTERVENTIONS PREVUES

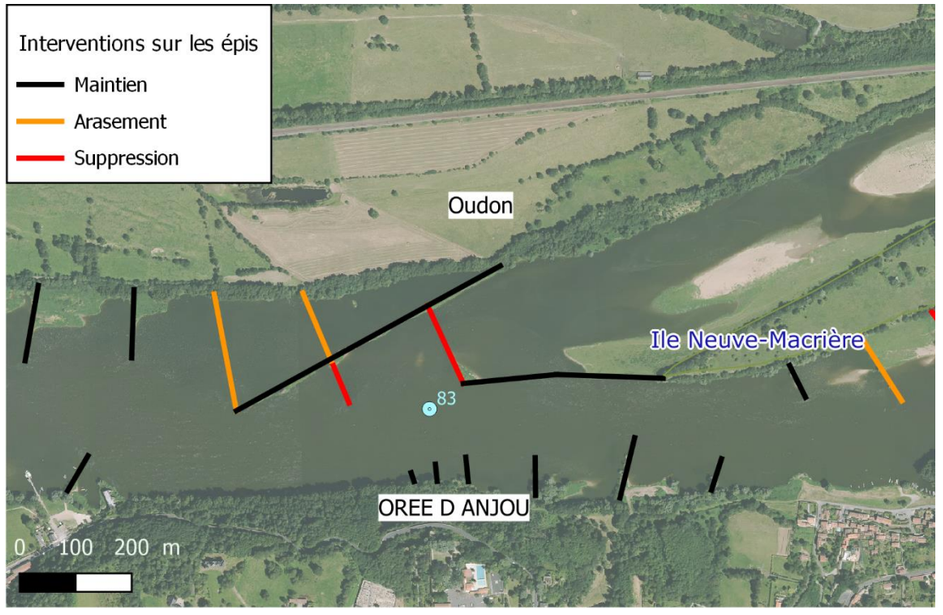


Figure 33 : Configuration actuelle et future (illustration configuration 8) des ouvrages à la sortie du bras de Neuve-Macrière, secteur B (source Artélia)

Creusement d'un chenal pilote

Pour favoriser la remobilisation des sédiments stockés dans le bras secondaire, le pré-creusement d'un chenal pilote a été étudié via la solution simulée n°9.

L'analyse des évolutions bathymétriques permet de mettre en évidence un impact bénéfique du creusement du chenal pilote sur la connexion hydraulique du bras secondaire, mais ce gain est limité dans le temps (de l'ordre de 5 ans).

Le point le plus important pour favoriser l'érosion du bras secondaire est de limiter les apports de sédiments dans ce bras. En effet favoriser la submersion du bras permet d'augmenter le transit sédimentaire dans le bras mais ne favorise pas forcément son érosion car les sédiments peuvent augmenter plus que la capacité d'expulsion du bras secondaire.

5.3.2.4 *Extension du secteur d'intervention : remodelage des épis de l'Ile Perdue (PK82 à79)*

La modélisation globale a montré que les travaux de remodelage d'épis entre les PK 100 et 82 pouvait créer un risque d'augmentation de l'érosion dans le secteur de l'ile Perdue (aval du PK 82). En effet, la bonne efficacité de l'élargissement du lit par remodelage des épis en amont permet aux sédiments de se déposer dans le lit principal. Cela pourrait créer un déficit d'apport de sable dans le secteur de l'Ile Perdue immédiatement en aval. Par ailleurs, la forte végétalisation du banc d'épis de l'ile Perdue resserre le lit de la Loire de manière significative, augmentant le phénomène d'érosion. Dans ce secteur, la voie ferrée est en bordure immédiate du fleuve.

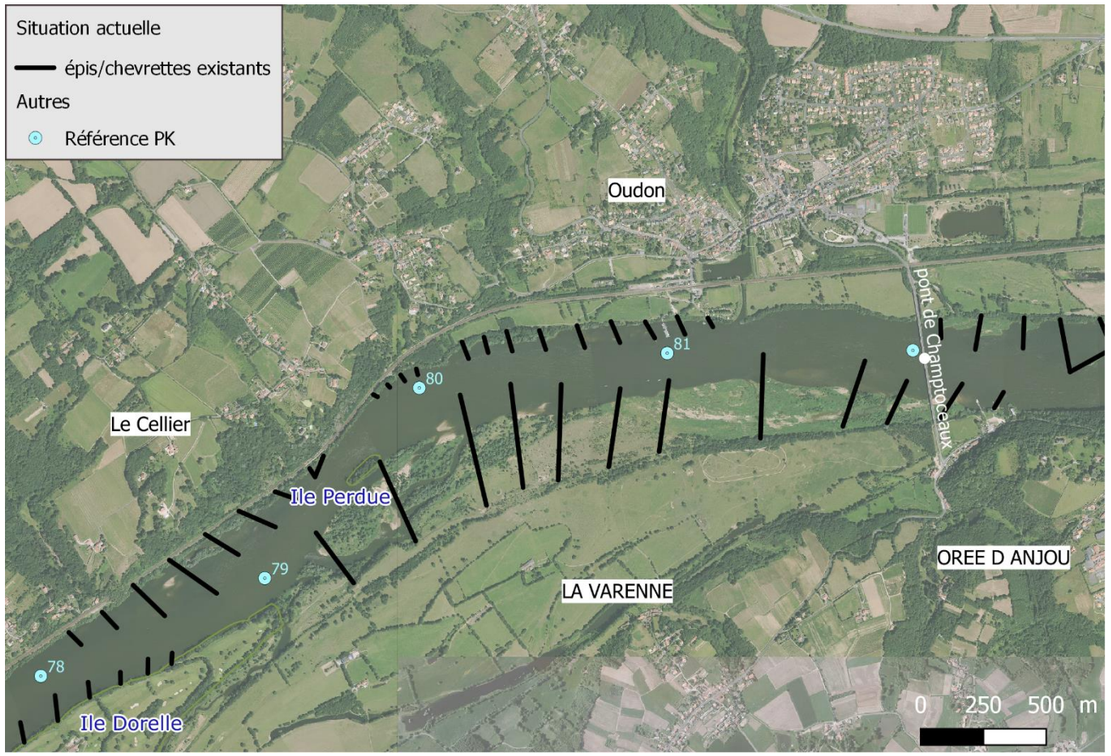


Figure 34 : Carte de l'état actuel des épis présents sur le secteur de l'île Perdue

Afin de limiter l'érosion dans ce secteur, 4 solutions d'aménagement complémentaires ont été comparées pour répartir les écoulements dans un lit plus large et ainsi éviter le phénomène d'érosion :

- arasement d'épis + dévégétalisation en rive gauche
- arasement d'épis + dévégétalisation en rive gauche + exhaussement des épis en rive droite
- arasement de l'épi aval + devégétalisation en rive gauche
- arasement des épis + dévégétalisation d'un chenal central

Cette comparaison permet de conclure que l'enlèvement des épis en rive gauche à l'amont de l'île Perdue permet d'obtenir une répartition différente des sédiments dans la section en travers du chenal, avec un lit actif plus large et moins incisé. Cette modification du lit à l'amont de l'île Perdue a un impact positif sur les conditions d'écoulement au droit de l'île Perdue (et notamment sur la berge en rive droite) car elle permet un meilleur étalement des écoulements et donc des vitesses moindres.

Par ailleurs tous les calculs montrent une tendance au comblement des chenaux secondaires à gauche de l'île Perdue. Le choix de zones de dévégétalisation favorisant un chenal direct et court (donc plus proche de l'île Perdue que de la berge rive gauche) permet de limiter ce processus.

C'est donc la dernière solution, comprenant l'arasement des épis en rive gauche et la dévégétalisation d'un chenal central à gauche de l'ile Perdue, qui a été retenue et qui permet d'éviter le phénomène d'érosion dans ce secteur.

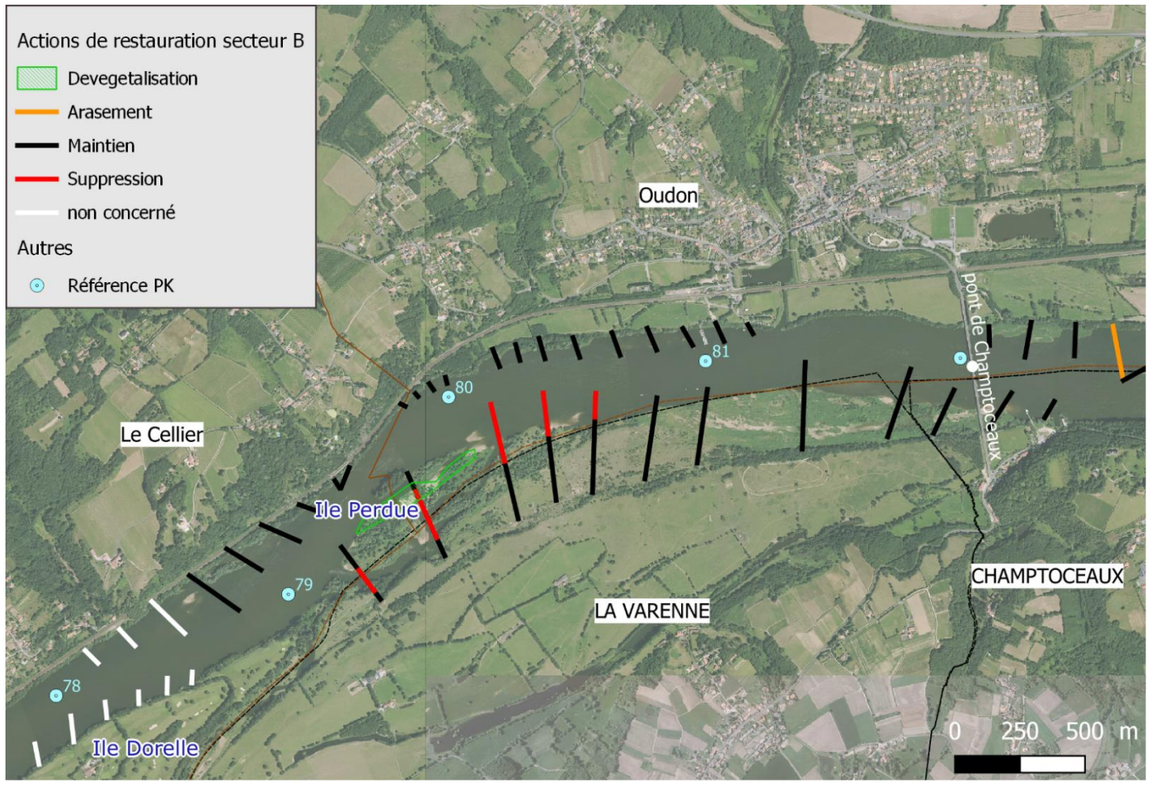


Figure 35 : Carte des travaux prévus sur le secteur de l'île Perdue

➔ **Choix et justification du scénario retenu**

Le modèle numérique hydrosédimentaire calé sur les évolutions 2010-2017 a été mis en œuvre pour étudier l'impact morphologique de différents leviers de restauration dans le lit de la Loire entre Anetz et Oudon. Cette démarche a permis de proposer la solution de restauration qui inclut :

- Le remodelage général des épis :
  - Raccourcissement des épis de façon à conserver une largeur de chenal suffisante ;
  - Abaissement des épis à la cote d'étiage + 20 cm.
- Suppression de la chevrette à l'ouverture du bras de l'île Neuve-Macrière, suppression de l'épi aval et du seuil aval, maintien des 2 épis amont
- Suppression des ouvrages transversaux à la sortie du bras de l'île Neuve-Macrière et maintien des ouvrages longitudinaux sans arasement
- Arasement des épis et dévégétalisation d'un ancien chenal d'écoulement dans le secteur de l'île Perdue.

Ce scénario permet de relever significativement la ligne d'eau d'étiage dans le cas où les apports solides de la Loire restent soutenus, et d'éviter une baisse de cette ligne d'eau dans le cas où ces apports viendraient à être réduits.

Le remodelage proposé des épis permet d'atteindre les objectifs du projet au vu des modélisations hydro-sédimentaires réalisées dans le cadre des études.

5.3.3. Caractéristiques du scénario retenu

5.3.3.1 *Calage de la cote de submersion des têtes d'épis*

Comme pour l'opération expérimentale entre Bouchemaine et Chalonnes, l'objectif du remodelage est de fixer le début de surverse sur les épis au débit d'étiage, c'est-à-dire 207 m³/s. afin de tenir compte de l'exhaussement des lignes d'eau envisageable à moyen ou long terme, une revanche doit être considérée sur ce niveau.

La modélisation hydraulique a montré que l'évolution tendancielle de la Loire sur le secteur d'étude est la stabilité de la ligne d'eau d'étiage, pour des apports solides à l'équilibre. En revanche, en cas d'apports solides réduits (80%), la ligne d'eau s'enfoncera jusqu'à près de 1,20m en amont.

Il est proposé de retenir une revanche de 20 cm sur la ligne d'eau d'étiage actuelle. Cette revanche est plutôt faible :

- Elle permet, en cas d'apports amont réduits, d'éviter un trop grand différentiel entre la ligne d'eau tendancielle et le niveau de surverse des épis ;
- Elle entraine un abaissement plus important des épis, donc une action de restauration plus marquée ;
- Elle va dans le sens d'une plus grande mobilité latérale du chenal d'étiage en cas de réengravement progressif du lit.

5.3.3.2 *Géométrie des épis abaissés*

Selon la bibliographie, la dénivelée adoptée entre l'ancrage des épis et leur tête était de 1 m à l'origine. Il est proposé de diminuer cette dénivelée de moitié, c'est à dire de donner aux épis une dénivelée totale de 50 cm au lieu de 1 m. Cela accroîtra les débits spécifiques déversés sur les épis aux points les plus éloignés des têtes d'épi : cette disposition permettra d'accroître la mobilité du fleuve sur la plus grande largeur possible entre les épis, et de réduire l'autocurage du lit vif tout en n'aggravant pas les conditions hydrauliques pour la navigation à l'étiage.

Cependant, afin de limiter les risques d'érosion des berges, les épis remodelés seront maintenus à leur cote actuelle sur une longueur de 20 m à compter de leur enracinement. Un schéma du principe de l'abaissement est donné ci-après.

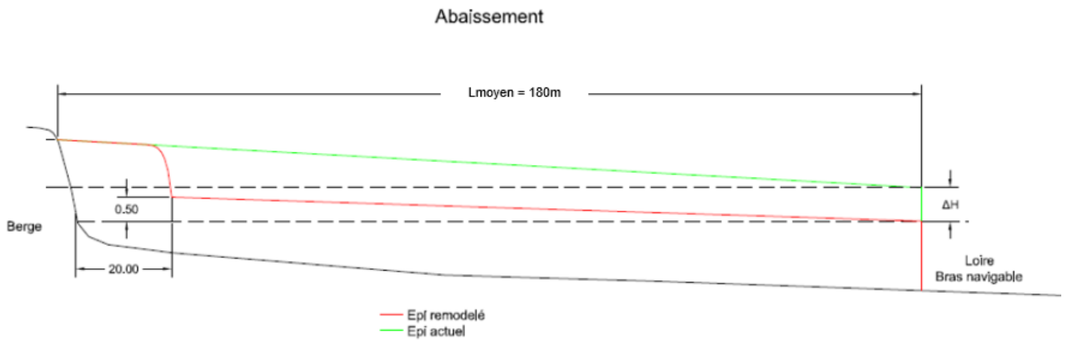


Figure 36 : Principes d'abaissement et de raccourcissement (source AVP ARTELIA)

5.3.3.3 *Largeur de chenal*

Le choix d'une largeur de chenal de référence repose sur le critère hydraulique de maintien d'un tirant d'eau suffisant à l'étiage, soit 1 m en situation d'étiage (207 m3/s).

En première approche, les observations suivantes peuvent être faites à partir des données bathymétriques :

- Les zones présentant des surcreusements ont une largeur inférieure à 120 m (ex : PK88 à PK89),
- Les zones qui semblent davantage à l'équilibre présentent une largeur comprise entre 120 m et 150 m.

Le tableau ci-après présente les largeurs de chenal par secteur, dans l'état actuel et dans l'état projet :

Tableau 6 : Largeur de chenal par secteur en états actuel et projet (extrait AVP Artelia)

Tronçon[2]	Largeur chenal état actuel (m)	Largeur chenal état projet (m)
1a	140 à 180	inchangé
1b	100 à 130	inchangé
1c	100 à 120	200 à 250
1c'	100 à 120	inchangé
1d	100 à 150	100 à 200
1e	120 à 170	150 à 170
1f	130 à 180	inchangé
2a	110 à 120	inchangé
2b	100 à 140	150
2b	100 à 120	150 à 220
2b	100 à 130	150
3a	120 à 130	150
3a	120 à 150	150

La délimitation des secteurs est présentée dans l'atlas cartographique.

5.3.3.4 *Suppression d'épis*

Dans ce cas les épis sont intégralement démontés.

L'intérêt de la conservation d'une « racine » de 20 m en berge a été analysé. Ce type d'ouvrage court peut, en effet, poser question quant à d'éventuelles perturbations de la courantologie locale susceptible d'éroder les berges voisines. Un panel de cas a été examiné afin de dégager une orientation générale de comportement en se basant sur les cartographies des vitesses à 850 et 3100 m3/s.

Dans la plupart des cas, la vitesse au droit de la berge encadrant la racine de l'épi ne dépasse pas 0.5 m/s. Même en cas de formation de tourbillons, ces derniers ne disposeront pas de l'énergie nécessaire pour éroder les berges qu'elles soient végétalisées ou non.

Dans quelques cas particuliers, la vitesse au droit de la berge encadrant l'épi atteint voire dépasse légèrement 1m/s. Dans ce cas, des érosions sont possibles mais dépendent essentiellement de l'état de la berge:

[2] Les tronçons sont matérialisés sur la figure « intervention sur les épis » , Atlas cartographique - lot 2.

- Dans le cas d'une berge sableuse non végétalisée, la contrainte tractrice critique ne dépasse pas 5 à 10 N/m^2 selon la granulométrie et la cohésion du matériau
- Dans le cas d'une berge couverte d'une végétation arbustive la contrainte tractrice critique se situe entre 50 et 200 N/m^2 (Lachat 1994)

En crue (3100 m3/s) la contrainte tractrice exercée par l'écoulement au droit des berges peut être estimée à 10 N/m2 en considérant, du fait de l'épi, un renvoi de courant contre la berge avec un angle d'incidence de plus de 45° (forte sinuosité) et une hauteur d'eau de l'ordre de 3 mètres.

Cette approche permet de focaliser les risques d'érosion liés à des perturbations de la courantologie aux berges sableuses non protégées et peu ou pas végétalisées, comme c'est le cas de la berge rive droite de la Loire dans le bras principal de Neuve Macrière (berge non protégée au niveau des épis supprimés). Afin de ne pas créer de nouvelles zones d'érosion, il est préconisé de supprimer la totalité des épis.

5.3.3.5 *Les chevrettes*

L'amélioration de la connexion hydraulique des bras secondaires est un des enjeux forts de la restauration de la Loire. La présente opération devrait y participer, d'une part en remontant la ligne d'eau d'étiage, mais également en revoyant la géométrie des chevrettes situées en amont des bras :

- Bras secondaire de Neuve Macrière,
- Bras des Vinettes,
- Bras du Bernardeau
- Bras des Babins.

Les chevrettes des bras de Neuve Macrière et du Bernardeau seront supprimées (opération analogue à une suppression d'épis). A noter qu'il existe sur ces 2 bras un seuil en aval de la chevrette d'entrée qui crée un point dur dans ces bras et y contraint l'abaissement du lit. Ces 2 ouvrages seront également supprimés.

Les chevrettes des bras des Vinettes et des Babins seront abaissées de la même manière que les épis : à un niveau étiage + 20cm. Pour augmenter encore la mise en eau des bras, une échancrure sera réalisée au centre de la chevrette, en V.

5.3.3.6 *Présentation générale des travaux retenus*

Les cartes ci-après présentent le plan général des travaux et de leur organisation par groupe d'épis. Chaque carte est accompagnée d'un tableau qui récapitule les interventions sur les groupes d'épis.

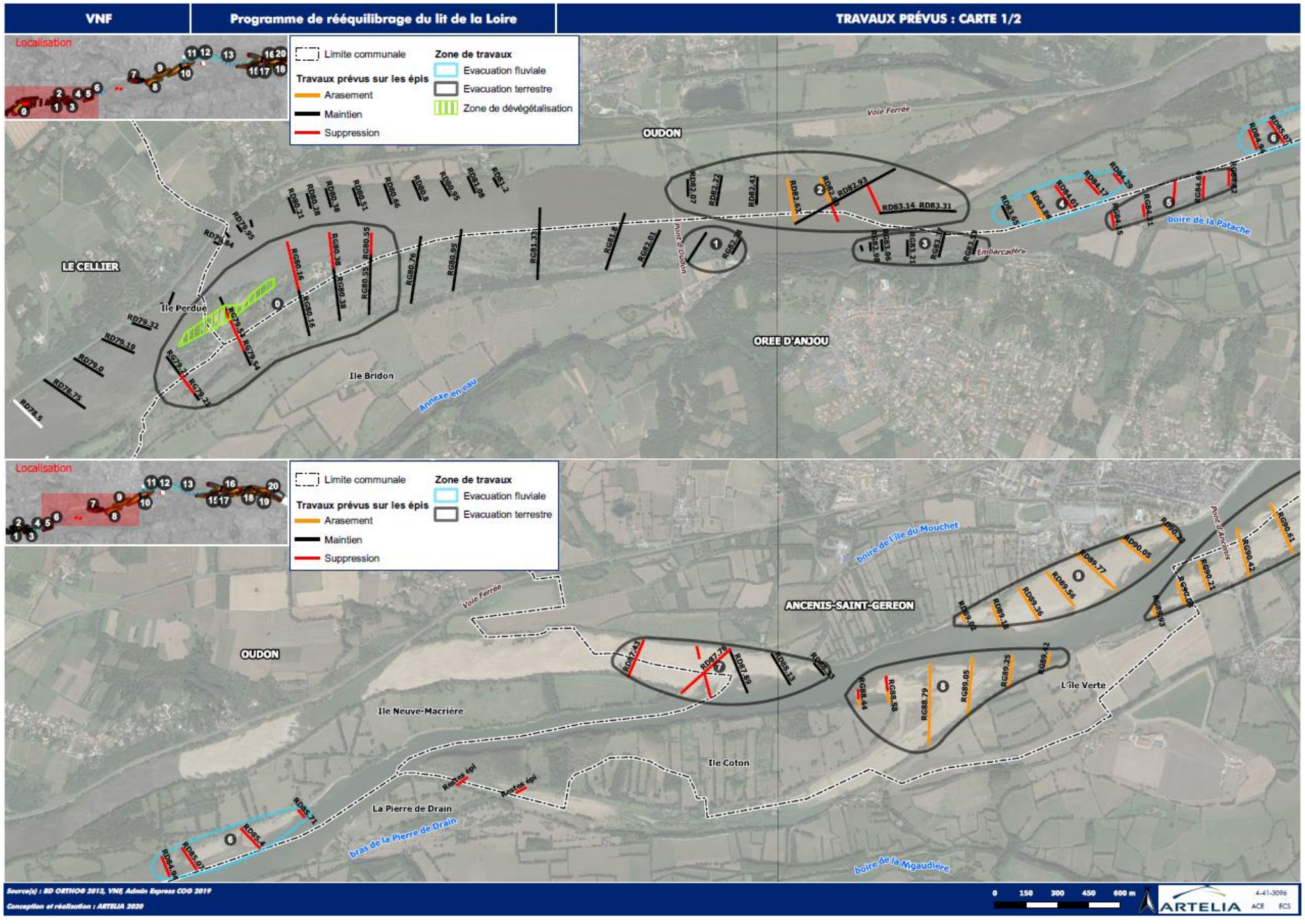


Figure 37 : Plan d'organisation des travaux du secteur B entre Oudon et Ancenis

Tableau 7 : Détail des interventions sur les épis des groupes d'épis 0 à 9 (source : Artélia)

Groupe d'épis	Caractéristiques	Actions prévues
Groupe d'épis 0	Ce groupe d'épis concerne les épis en rive gauche au droit de l'ile Perdue	Suppression partielle de 5 épis afin d'élargir le lit, très resserré dans ce secteur, et éviter les phénomènes d'érosion. Dévégétalisation d'un chenal d'écoulement, à gauche de l'ile Perdue, sur une surface d'environ 23 000m² pour élargir la section d'écoulement et la répartir davantage des deux côtés de l'ile Perdue.
Groupe d'épis 1	Le groupe d'épis 1 concerne les épis en rive gauche en amont immédiat du pont d'Oudon. 2 épis sont présents.	Il est proposé de les maintenir afin de ne pas modifier la navigabilité sur le groupe d'épis (présence du ponton du bateau « la Luce »).
Groupe d'épis 2	Le groupe d'épis 2 concerne la rive droite en amont du pont de Oudon. 9 ouvrages sont présents : 6 épis transversaux, 3 épis longitudinaux.	Il est proposé de maintenir les épis RD82.07, RD82.22 et RD82.41, pour ne pas modifier les conditions de navigabilité à proximité de la cale rive gauche. L'épi RD82.63 et la partie nord de l'épi RD82.83 sont abaissés ; ils présentent une large brèche qui ne sera pas comblée. La modélisation hydrosédimentaire a montré la nécessité d'améliorer l'ouverture hydraulique au débouché aval du bras secondaire de Neuve Macrière, afin d'augmenter les vitesses d'écoulement pour y limiter les dépôts. Ainsi les épis RD82.93, RD 83.14 et RD83.31 sont maintenus pour limiter l'effet d'élargissement à la confluence bras secondaire/bras principal. Les 2 épis transversaux sont supprimés (RD 83.03 et partie sud du RD82.83).
Groupe d'épis 3	Le groupe d'épis 3 se situe en rive gauche, à l'aval de la boire de la Patache. Il comporte 6 petits épis.	Ces épis seront maintenus afin de ne pas modifier les conditions de navigation à proximité de sa cale et de son groupe d'épis de mouillage.
Groupe d'épis 4	Le groupe d'épis 4 se situe en rive droite sur la partie aval du bras principal de Neuve Macrière (~PK 84). Il est constitué de 5 épis.	Le petit épi aval RD83.65 est maintenu, face à le groupe d'épis de mouillage de la boire de la Patache. L'épi RD83.86 est arasé. En amont de cet épi, il est proposé de supprimer les épis sur le reste du bras principal de Neuve Macrière fortement incisé. Ainsi les 3 épis (RD84.01, 84.17 et 84.29) sont supprimés.
Groupe d'épis 5	Le groupe d'épis 5 se situe en rive gauche sur la partie aval du bras principal de Neuve Macrière. 5 épis y sont présents.	Il est prévu de les supprimer.
Groupe d'épis 6	Le groupe d'épis 6 se situe en rive droite du bras principal de Neuve Macrière. 4 épis sont présents.	Ils seront supprimés comme les autres épis sur le bras, pour favoriser les dépôts sur ce bief fortement incisé.
Groupe d'épis 7	Le groupe d'épis 7 concerne l'entrée du bras secondaire de Neuve Macrière. 3 épis y sont présents, une chevrette et un seuil en travers du bras secondaire.	La modélisation hydrosédimentaire a montré la nécessité d'ouvrir le bras secondaire, tout en conservant les 2 épis amont qui agissent comme des déflecteurs, permettant de limiter le débit solide entrant dans le bras. Le large seuil RD87.43 en travers du bras sera entièrement démonté, ainsi que la chevrette à l'entrée du bras. L'épi RD87.75 qui s'appuie sur la chevrette sera également supprimé. Les 2 épis amont RD 87.89 et RD88.13 sont conservés en l'état.
Groupe d'épis 8	Le groupe d'épis 8 se situe en rive gauche de la Loire, à l'entrée du bras des Brevets, fortement ensablé. 6 épis sont présents.	Les 2 épis RG88.44 et RG88.58 seront abaissés et raccourcis, pour élargir le lit à 150m. Les 4 autres épis RG88.79, RG89.05, RG89.25 et RG89.42 seront abaissés.
Groupe d'épis 9	Le groupe d'épis 9 se situe en rive droite de la Loire, en aval du pont d'Ancenis. 7 épis sont présents.	Les 7 épis seront abaissés, la largeur de la Loire étant suffisante et les conditions de navigation sensibles.

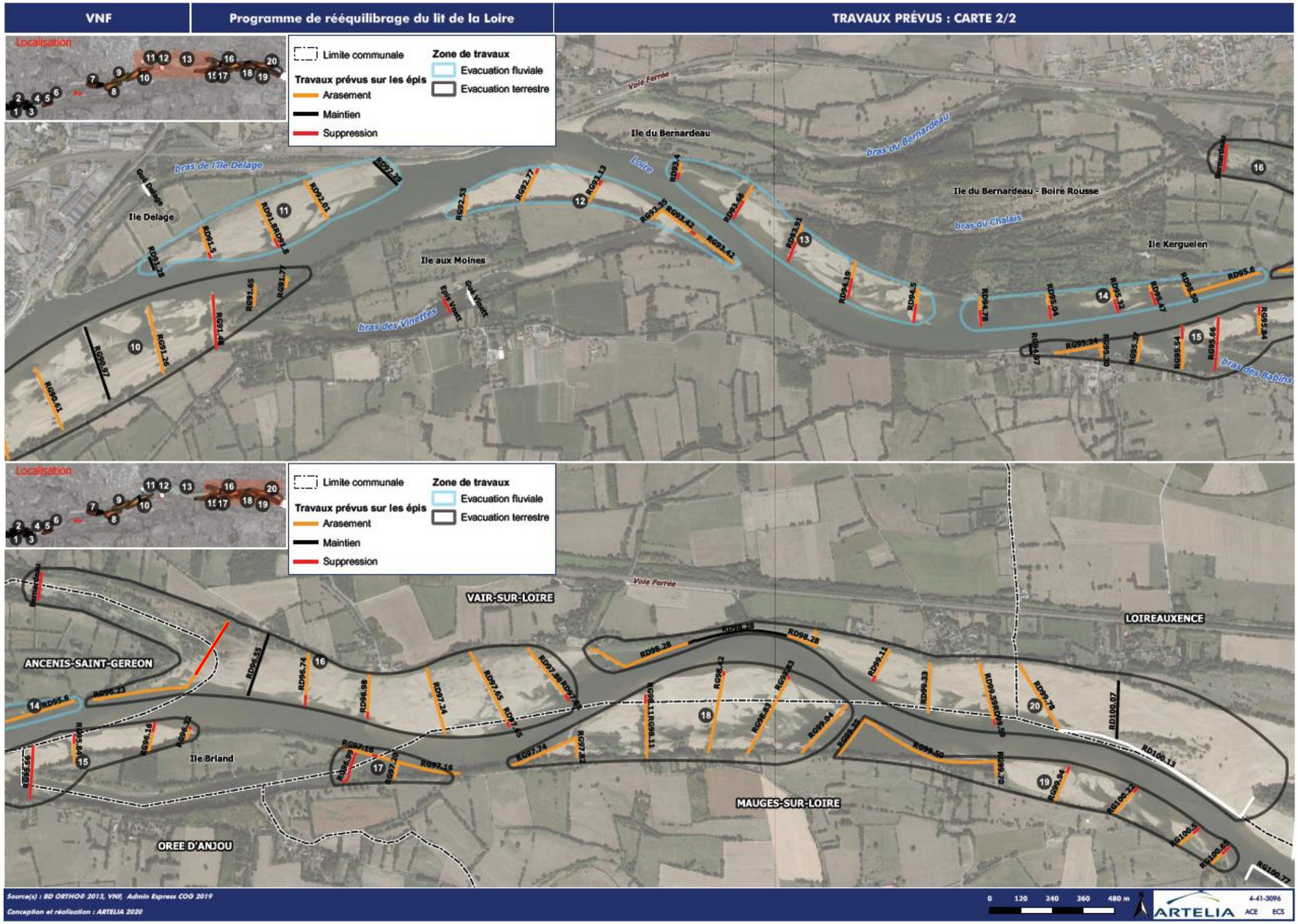


Figure 38 : Plan d'organisation des travaux du secteur B entre Ancenis et Anetz

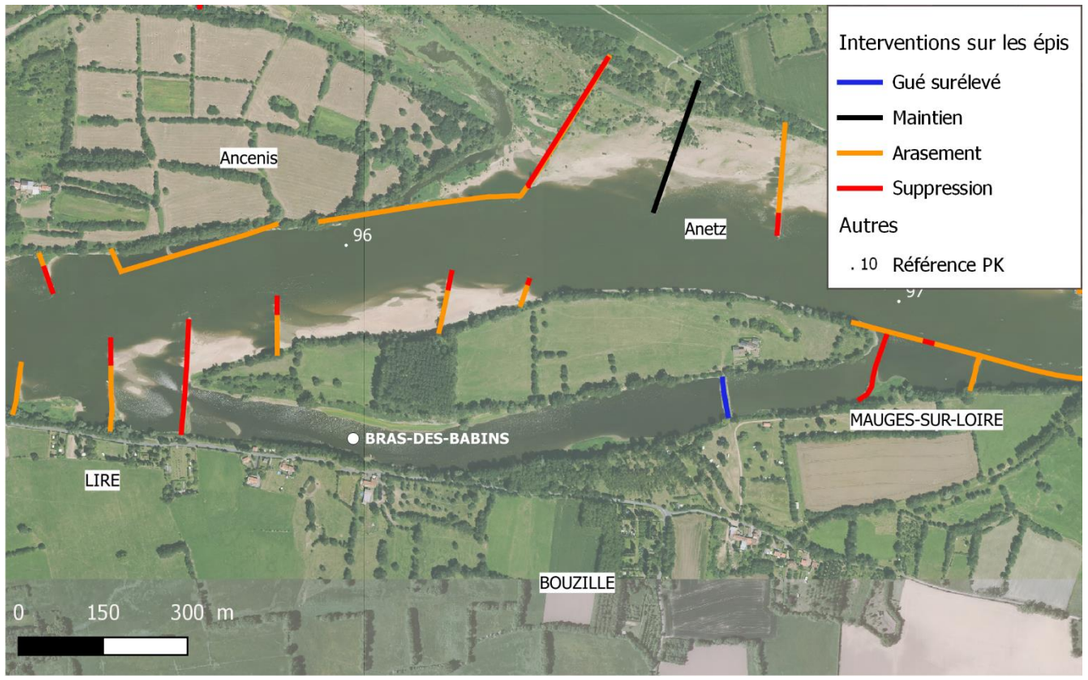
Tableau 8 : Détail des interventions sur les épis des groupes d'épis 10 à 20 (source : Artélia)

Groupe d'épis	Caractéristiques	Actions prévues
Groupe d'épis 10	Le groupe d'épis 10 se situe en rive gauche de la Loire, de part et d'autre du pont d'Ancenis. 10 épis y sont présents.	Ils sont tous abaissés, à 2 exceptions près : l'épi RG90.97 est maintenu en l'état afin de favoriser l'autocurage du port d'Ancenis. L'épi RG91.48 qui ferme le bras des Vinettes par l'aval est supprimé afin de reconnecter ce bras.
Groupe d'épis 11	Le groupe d'épis 11 se situe en rive gauche de la Loire en amont d'Ancenis, le long de l'ile Delage. 5 épis sont présents.	Le petit épi aval RD91.28, situé en amont de la prise d'eau, est maintenu. Les 2 épis RD91.5 et RD91.8 sont abaissés et raccourcis. L'épi 92.01 est abaissé. Enfin l'épi amont RD92.29 est conservé, afin de servir de déflecteur en entrée du bras de l'ile Delage et limiter ainsi légèrement les débits solides entrants.
Groupe d'épis 12	Le groupe d'épis 12 se situe en rive gauche de la Loire, au niveau de l'ile au Moine. Il comprend 4 épis transversaux et la chevrette d'entrée du bras des Vinettes auquel s'ajoute une action sur un ouvrage transversal au sein de ce bras.	L'épi RG92.53 est abaissé. Les 2 épis RG92.77 et RG93.13 sont abaissés et rétrécis. L'épi RG93.35 situé dans le prolongement de la chevrette est abaissé. La chevrette d'entrée dans le bras des Vinettes, RG93.42, est abaissée. Pour accélérer la mise en eau du bras, une échancrure sera réalisée au centre de la chevrette, en V (30m de large, 30 cm de profondeur). A noter enfin que pour une efficacité maximale du programme de restauration, le gué présent dans le bras des Vinettes devra être ouvert (ouverture hydraulique de 10m) et l'épis/seuil qui barre le bras en aval du gué devra être détruit. Seule la destruction de l'épi est incluse dans les travaux VNF. L'aménagement du gué sera réalisé par un autre maitre d'ouvrage.
Groupe d'épis 13	Le groupe d'épis 13 se situe en rive droite de la Loire, au niveau du pk94, au niveau de l'ile Kerguelen. Il est constitué de 5 épis transversaux.	Ces épis seront raccourcis et abaissés. Afin de réduire l'artificialisation du lit sur cette groupe d'épis très homogène, et d'éviter de récréer un lit trop homogène calé à une largeur constante de 150m, il a été décidé d'augmenter le raccourcissement des épis sur les groupe d'épis 13 et 14, situés en rive convexe donc théoriquement plus stable. La largeur du lit après travaux sur ces groupes d'épis sera de 170 à 200m
Groupe d'épis 14	Le groupe d'épis 14 est assez similaire au groupe d'épis 13. Il se situe en rive droite de la Loire, au niveau du pk 95, au niveau de l'ile Kerguelen. Il est constitué de 5 épis transversaux et un épi longitudinal.	Ces épis seront raccourcis et abaissés. Afin de réduire l'artificialisation du lit sur ce groupe d'épis très homogène, et d'éviter de récréer un lit trop uniforme d'une largeur constante de 150m, il a été décidé d'augmenter le raccourcissement des épis sur les groupes d'épis 13 et 14, situés en rive convexe : le chenal en rive concave y est moins mobile. La largeur du lit après travaux sur ces groupes d'épis sera de 170 à 220m.
Groupe d'épis 15	Le groupe d'épis 15 se situe en rive gauche de la Loire, au niveau du lieu-dit la Rabotière (commune de Liré). Il est composé de 8 épis transversaux et d'un épi longitudinal.	L'épi RD94.97, quasi inexistant, ne fait l'objet d'aucun travaux (maintien). Les épis RD95.24, RG95.30 et RG95.37 sont abaissés. Les épis RG95.54, RG95.84, RG96.16 et RG96.32 sont abaissés et raccourcis. Enfin l'épi RG95.66, qui ferme actuellement l'aval du bras des babins, sera supprimé
Groupe d'épis 16	Le groupe d'épis 16 se situe en rive droite de la Loire, en amont de l'entrée du bras du Bernardeau. Il est composé de 7 épis transversaux et d'un épi longitudinal.	Comme pour le bras de Neuve Macrière, l'entrée du bras du Bernardeau sera ouverte afin d'améliorer sa connectivité. Ainsi l'épi RD96.22 qui en barre l'entrée sera largement raccourci ; comme pour le bras de Neuve Macrière, un épi haut est maintenu en amont (RD96.55) afin de servir de déflecteur et de limiter les débits solides entrants en amont, les épis RD96.74, RD96.98, RD97.65 et RD97.88 sont légèrement raccourcis et abaissés. L'épi RD97.24 est uniquement abaissé. A noter qu'un épis/seuil barre le bras du Bernardeau 700m en aval de son entrée. Cet épi doit être supprimé pour permettre l'érosion libre du bras. Ces travaux ont été intégrés à la présente étude, associés au groupe d'épis 16.
Groupe d'épis 17	Le groupe d'épis 17 correspond à l'entrée du bras des babins. Il est composé d'une chevrette, et de 2 épis de renfort aval.	Afin de libérer l'entrée du bras, la chevrette est abaissée, abaissement complété par une échancrure en V. L'épi RG97.20 est également abaissé. L'épi RG96.99 est supprimé afin d'améliorer la connexion du bras à la Loire. En aval de l'entrée, un épis/seuil sur le bras des Babins constitue un gué d'accès à l'ile Briand. Afin de ne pas laisser d'obstacle dans ce bras, les alternatives à ce gué sont en cours de réflexion : passerelle, accès par bac notamment. Le choix n'est pas arrêté à ce stade et fera l'objet d'une concertation locale.

Groupe d'épis 18	Le groupe d'épis 18 se situe en rive gauche de la Loire, au niveau du PK98. Il est constitué de 5 épis transversaux et d'un épi longitudinal.	Les épis RG97.74, RG97.82 et RG99.04 seront abaissés. Les épis RG98.11, RG98.42 et RG98.83 seront raccourcis et abaissés.
Groupe d'épis 19	Le groupe d'épis 19 se situe en rive gauche de la Loire ; Il est composé de 5 épis transversaux et d'un épi longitudinal.	Les épis RG99.50 et RG99.70 seront abaissés. Les épis RG99.94, RG100.22, RG100.5 et RG100.65 seront abaissés et raccourcis. Ce groupe d'épis s'arrête au PK100.65 : au-delà, jusqu'au pont de St Florent le Vieil, la douzaine d'épis présents se situent sur le bras principal de la Meilleraie, hors groupe d'épis d'étude. Ce bras n'a pas été intégré à ce premier programme de travaux. Il n'a pas été pris en compte dans le modèle, il n'est donc pas souhaitable d'y modifier les conditions d'écoulement.
Groupe d'épis 20	Le groupe d'épis 20 se situe en rive droite de la Loire, en amont du groupe d'épis d'étude. Il est composé de 6 épis transversaux et d'un long épi longitudinal.	Cet épi longitudinal sera abaissé, excepté dans sa partie centrale ou il constitue une protection de la berge concave de la Loire. Les 2 épis RD99.11 et RD99.59 sont légèrement raccourcis et abaissés. Les 2 épis RD99.33 et RD99.78 sont abaissés. Enfin l'épi RD100.07 est maintenu, comme l'épi longitudinal RD100.13, hors groupe d'épis d'étude : ces 2 épis contrôlent la sortie du bras de la Meilleraie, qui n'a pas été pris en compte dans ce premier programme de travaux. Ce bras n'a pas été pris en compte dans le modèle, il n'est donc pas souhaitable d'y modifier les conditions d'écoulement.

5.3.3.7 *Zoom sur les travaux prévus sur les bras secondaires*

Bras des Babins



Objectifs des actions de restauration du bras à mener (maitrise d'ouvrage VNF) :

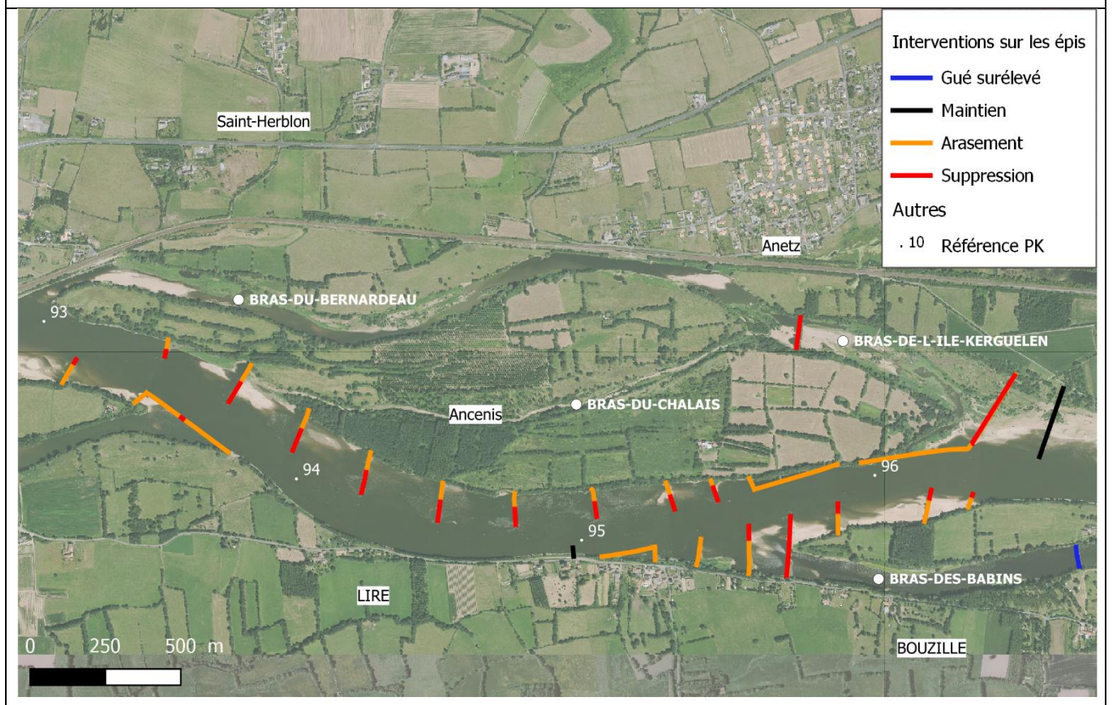
- Restaurer la continuité du bras et sa dynamique fluviale
- Maintenir la capacité hydraulique en période de crue
- Diversifier les habitats et conserver voire enrichir la capacité d'accueil (castor, Gomphes, Ichtyofaune…)
- Restaurer les boisements
- Rechercher une solution adaptée et non impactante pour les accès

Actions prévues sous la maîtrise d'ouvrage de VNF

- Arasement de la chevrette en entrée de bras, avec une échancrure
- Arasement de l'épis en entrée de bras
- Suppression du 2e épis en entrée de bras et de l'épi en sortie de bras

Des actions de restauration de l'ouvrage de franchissement seront définis a posteriori.

Bras du Bernardeau et du Chalais



Objectifs des actions de restauration du bras à mener (maitrise d'ouvrage VNF) :

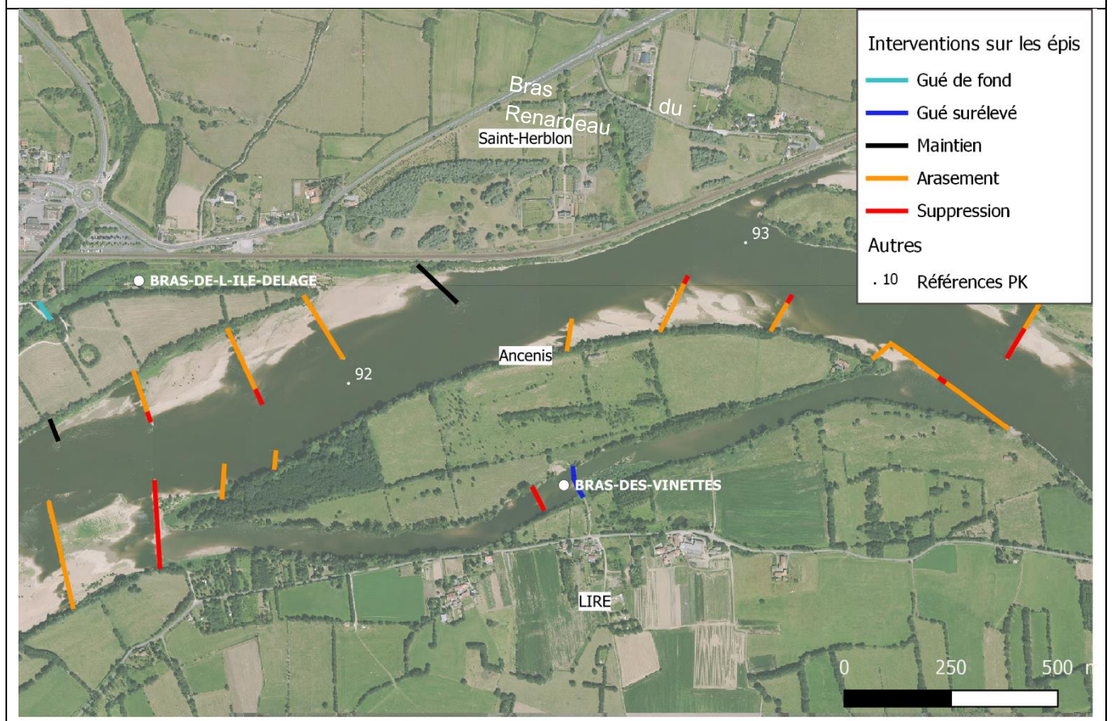
- Augmenter l'efficacité attendue de la réouverture du bras : dynamique fluviale plus naturelle, continuité à restaurer notamment vis-à-vis de l'ouvrage transversal ;
- Augmenter la capacité d'accueil de certaines espèces (Gomphes de Loire, Castor, poissons…) ;
- Conforter à terme les habitats boisements alluviaux, mégaphorbiaie, berges vaseuses… ;
- Concilier le rétablissement de la continuité du bras et l'enjeu de maintien des activités adaptées sur l'île (accès).

Actions prévues sous la maîtrise d'ouvrage de VNF

- Suppression de la partie transversale du duis qui barre l'entrée du bras et abaissement de sa partie longitudinale ;
- Maintien d'un épi « déflecteur (épis à l'amont du bras qui doit permettre d'éviter un apport de sable trop important dans le bras) ;
- Raccourcissement et/ou abaissement des autres épis ;
- Suppression du seuil transversal présent à 700 m en aval de la connexion amont.

Des suivis permettront de définir des actions de restauration complémentaires, si nécessaire.

Bras des Vinettes



Objectifs des actions de restauration du bras à mener (co-maitrise d'ouvrage : Conseil départemental de Loire-Atlantique et Voies navigables de France)

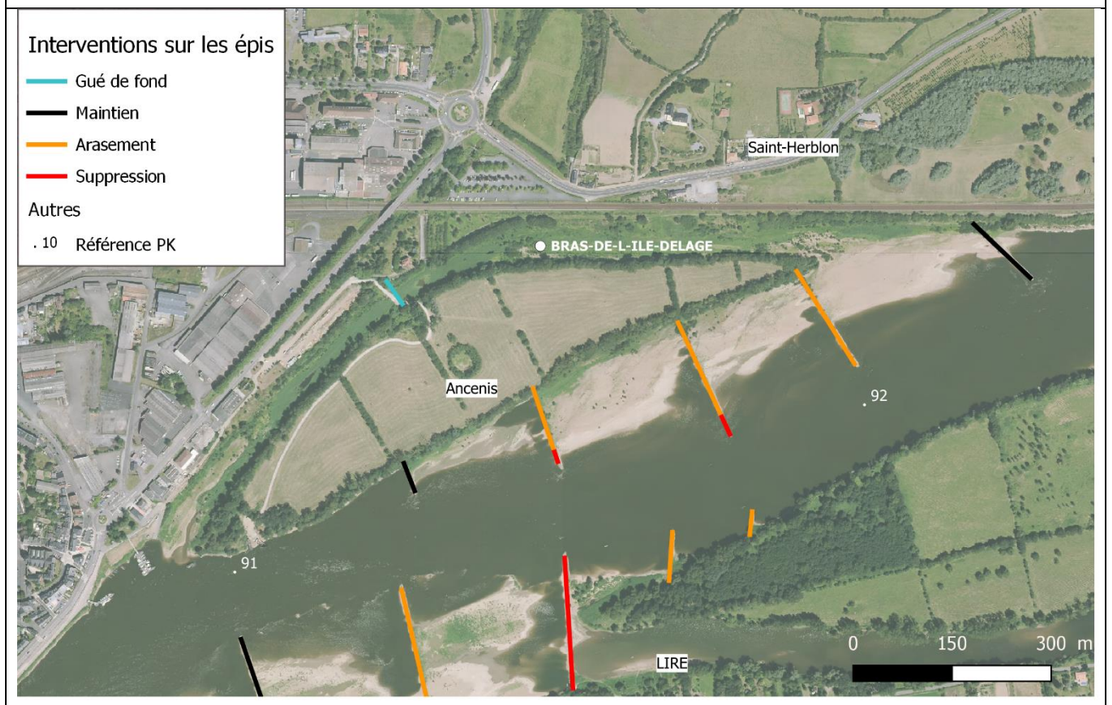
- augmenter l'efficacité attendue de la réouverture du bras : dynamique fluviale plus naturelle, continuité hydro-écologique à restaurer (notamment vis-à-vis des ouvrages transversaux existants) ;augmenter l'efficacité attendue de la réouverture du bras : dynamique fluviale plus naturelle, continuité hydro-écologique à restaurer (notamment vis-à-vis des ouvrages transversaux existants) ;
- augmenter la capacité d'accueil de certaines espèces (Gomphes de Loire, Castor, Oiseaux, poissons…) ;
- conforter à terme les habitats boisements alluviaux, mégaphorbiaie, berges vaseuses… ;
- concilier le rétablissement de la continuité du bras et l'enjeu de maintien des activités adaptées sur l'île (accès).

Actions prévues sous la maîtrise d'ouvrage du CD 44 : La définition et la localisation des actions de restauration de ce bras, prévues sous la maitrise d'ouvrage du CD 44, sont en cours de validation par un groupe de travail et le maitre d'ouvrage.

Actions prévues sous la maîtrise d'ouvrage de VNF :

- Abaissement de la chevrette avec une échancrure de 30 mètres ;
- Suppression de l'épi aval ;
- Abaissement des autres épis ;
- Suppression du seuil transversal présent à 1 km en aval de la connexion amont.

Bras de l'île Delage



Objectifs des actions de restauration du bras à mener (maîtrise d'ouvrage VNF)

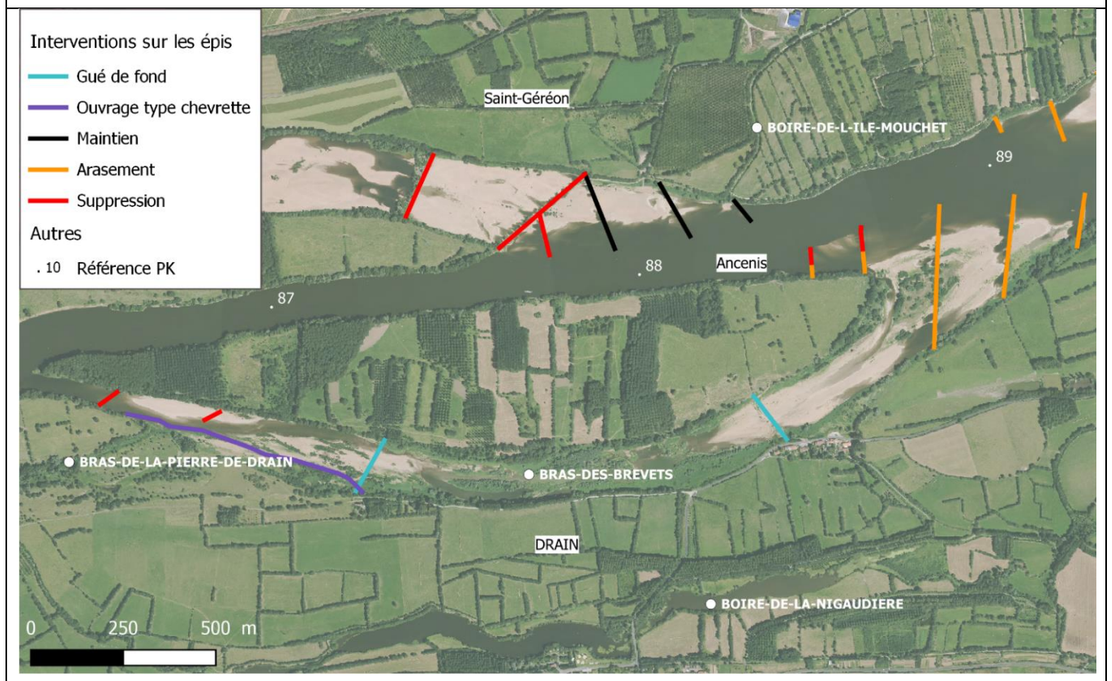
- Augmenter l'efficacité attendue de la réouverture du bras en rétablissant une dynamique fluviale plus naturelle ;
- Préserver les habitats et espèces (boisements alluviaux, mégaphorbiaie, berges vaseuses…)
- Améliorer la continuité entre le marais de Grée (exutoire dans le bras) et la Loire ;

Actions prévues sous la maîtrise d'ouvrage de VNF

- maintien de l'épi à l'amont du bras pour jouer le rôle de déflecteur à sédiments et ainsi limiter les apports de sable dans le bras ;
- raccourcissement et/ou abaissement des autres épis de l'île (rive gauche) ;

Des suivis permettront d'évaluer les actions de restauration menées et d'en définir des complémentaires si cela paraissait nécessaire.

Bras des Brevets



Objectifs des actions de restauration du bras à mener (maitrise d'ouvrage VNF) :

- Favoriser une dynamique fluviale plus naturelle dans le bras des Brevets et dans le bras de la Pierre de Drain (effet indirect), avec une remobilisation des sédiments,
- Diversifier la morphologie du lit
- Enrichir la diversité des habitats, en particulier sur le secteur amont du bras,
- Conforter et conserver les habitats en cours/début d'expression tout en maintenant un chenal ouvert.
- Conserver les berges naturelles
- Suivre les impacts des gués (sans incidence à ce jour)

Actions prévues sous la maîtrise d'ouvrage de VNF

- Abaissement des six épis présents à l'amont du bras des Brevets.
- Suppression des restes d'épis à l'aval du bras.

Des suivis permettrons de définir d'éventuelles actions complémentaires, notamment vis-à-vis de l'entretien de la végétation du bras si cela semblait toujours nécessaire.

5.3.4. Accès aux différentes zones de chantier

Les travaux se feront à la fois par voie terrestre (partie émergée des épis) et à la fois par voie fluviale (partie submergée des épis et points durs).

Tableau 9 : Détail des accès à chaque groupe d'épis (source : Artélia)

Zone/groupe d'épis	Situation	Desserte	Commentaires
N°0	RG aval – Ile perdue	RD 751 en direct – ~1000 m de piste à aménager	L'accès terrestre emprunte le chemin de la Loire à vélo
N°1	RD aval – le Cul du Moulin	RD 751 en direct – une centaine de m à aménager	Estacade à prévoir pour desserte nautique groupes d'épis de RG n° 4 et 6
N°2	RD aval - au débouché de la Boire de l'Ile Neuve-Macrière	**Terrestre -** RD 751c via chemin rural sur berge à renforcer	RAS
N°3	RG aval, au pied du bourg de Champtoceaux (aval lieu-dit la Patache)	**Terrestre -** RD 751 via la voie communale qui dessert le hameau de la Patache + chemin sur environ 300 m	RAS
N°4	RD extrémité aval Ile Neuve-Macrière	**Nautique** via liaison sur grève vers estacade à aménager (en commun avec Groupe N°6) puis liaison par barge jusqu' au cul du Moulin.	Cf. commentaire du Groupe N°1
N°5	RG aval, La Grande Prée (en amont du lieu-dit la Patache)	**Terrestre** - RD 751 via un chemin agricole et la voie de desserte du hameau de la Rompure	RAS
N°6	RD partie médiane Ile Neuve-Macrière	**Nautique** via liaison sur grève vers estacade à aménager (en commun avec Groupe N°4) puis liaison par barge jusqu' au cul du Moulin.	cf. commentaire du Groupe N°1
N°7	Entrée bras Nord ile Neuve-Macrière	**Liaison Terrestre** vers RD 763 via chemins ruraux (Le Pré Clos, le Champ-Roncin,) puis voirie urbaine jusqu'au pont d'Ancenis	Tonnage limité à 3.5t sur la section chemin rural

N°8	**RG –entrée de la Boire des Brevets**	Terrestre – **vers RD 751 via chemins ruraux de l'ile Coton et de l'Ile Verte puis Voie Communale entre les Brevets et la RD 751.**	**Franchissement boire des Robinets – tonnage autorisé reste à vérifier**
N°9	RD – Ancenis aval Ile Mouchet amont.	**Terrestre –** vers RD 763 via chemin sur berge puis Voie urbaine jusqu'au pont d'Ancenis.	RAS
N°10	RG- face Ancenis – Les Léards, aval Ile aux Moines	**Terrestre** – vers RD 763 via chemin sur berge puis voie communale.	Ce secteur recevra également une estacade pour la desserte nautique des groupes d'épis N°11, 12, 13 et 14
N°11	RD - Ile Delage	**Nautique** – estacade à aménager – évacuation via estacade au droit du Groupe d'épi N°10 sur la berge opposée	RAS
N°12	RG – Ile aux Moines amont	**Nautique** – estacade à aménager – évacuation via estacade au droit du Groupe d'épi N°10 plus en aval sur la même rive.	RAS
N°13	RD- Ile Bernardeau et Kerguelen aval	**Nautique** – estacade à aménager en commun avec Groupe d'épi N° 14 – évacuation via estacade au droit du Groupe d'épi N°10 sur la berge opposée	RAS
N°14	RD – Ile Kerguelen amont	**Nautique** – estacade à aménager en commun avec Groupe d'épi N° 13 – évacuation via estacade au droit du Groupe d'épi N°10 sur la berge opposée	RAS
N°15	RG – les Babins – Ile Briand	**Terrestre** – vers RD 751 via réseau de voies communales	RAS
N°16	RD – La Chaussée (Anetz)	**Terrestre** – vers RD 723 via réseau de voies communales (urbaines sur 500m).	Traversée de Anetz – PI au gabarit limité à 4.10 m sous la voie ferrée.
N°17	**RG – ile Briand amont**	Terrestre **– vers RD 751 via chemin rural puis réseau de voies communales.**	**RAS**
N°18	RG – l'Ile Poulas aval	**Terrestre** – vers RD 751 via courte section de chemin rural puis réseau de voies communales.	RAS
N°19	RG – l'Ile Poulas amont	**Terrestre** – vers RD 751 via courte section de chemin rural puis réseau de voies communales.	RAS
N°20	RD – Le Bois vert	**Terrestre** – vers RD 723 via courte section de chemin rural puis réseau de voies communales.	PI au gabarit limité à 3.40 m sous la voie ferrée. Capacité tonnage autorisé du ponceau sur la Boire Torse restera à vérifier en phase PRO.
Epis du bras des Vinettes	RG – bras des Vinettes	**Terrestre** - vers RD 763 via chemin sur berge puis voie communale.	Idem groupe N°10
Epis du bras du Bernardeau	Rd – bras du Bernardeau	**Terrestre -** vers RD 723 via chemins ruraux puis réseau de voies communales (urbaines sur 500m).	Idem groupe N°16

5.3.5. Estimation des types, des quantités de résidus et des émissions attendues

Les travaux d'abaissement et de suppression d'épis et chevrettes généreront un excédent de matériaux à évacuer. Le tableau ci-dessous récapitule par groupe d'épis et au global, les volumes de matériaux qui qui seront mobilisés et les volumes qui seront évacués.

*Tableau 10 : Volumes d'extraction et d'évacuation des matériaux (*extrait AVP Artelia)

groupe d'épis	mobilisation (m³)		évacuation (m³)	
Granulométrie des matériaux	0/300 mm	>300 mm	50/300 mm	>300 mm
0	4 500	4 700	3 100	4 700
1	0	0	0	0
2	900	3590	450	3000
3	0	0	0	0
4	680	2660	340	2310
5	640	2470	310	2110
6	620	2450	310	2120
7	4300	12450	1680	12340
8	3110	1930	740	940
9	3470	3740	2480	2760
10	9340	3430	2840	1680
11	3240	1650	2370	1080
12	5220	2520	3820	1410
13	3690	2610	1530	2050
14	4180	2840	1740	2070
15	5800	4070	2400	2790
16	23310	14680	9750	10930
17	3800	3550	2860	2280
18	4620	4730	3350	2220
19	4980	4910	3670	2680
20	4790	4840	3490	2770
Epis vinette	542	263	398	160
Total	**91 700**	**84 100**	**47 600**	**62 400**

Au total, les travaux sur le secteur B nécessitent le mouvement 285 800 m³ de matériaux dont 110 000m³ (38%) seront évacués.

5.4 Principes généraux d'interventions et modalités envisageables pour l'exécution des travaux sur les épis

Les travaux de remodelage sur ces deux secteurs sont de deux natures :

- Travaux de suppression ou de raccourcissement des épis.
- Travaux d'arasement des épis.

Les modalités de travaux sur les recharges en tête d'épi sont identiques aux modalités des travaux réalisés pour des épis de type « enrochements ».

Certains épis localement dégradés feront l'objet d'une remise en état à partir de matériaux de réemploi issus des travaux d'arasement ou de suppression.

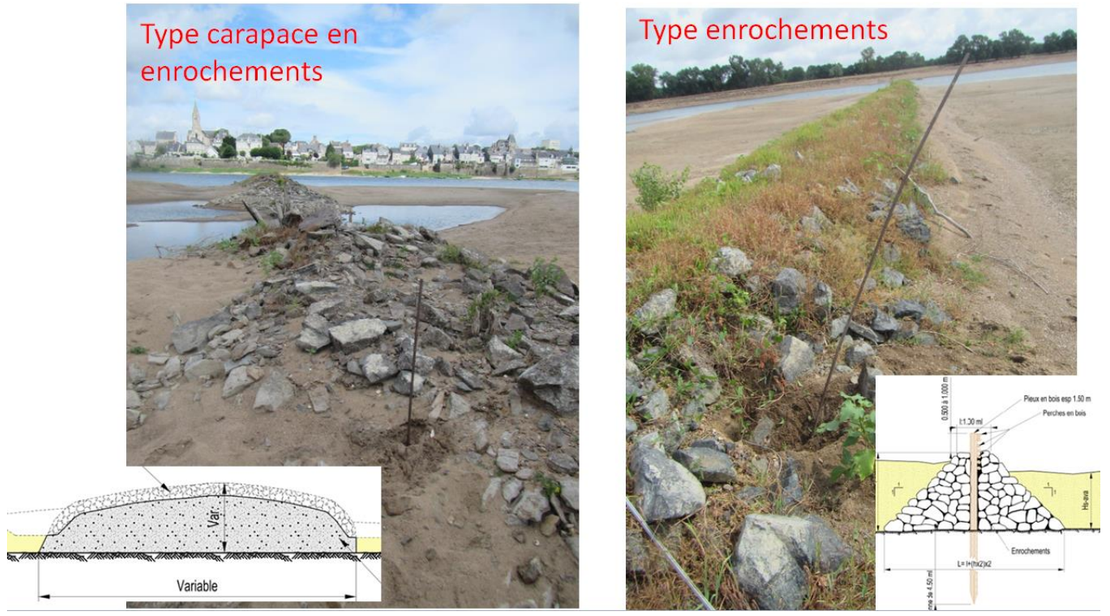
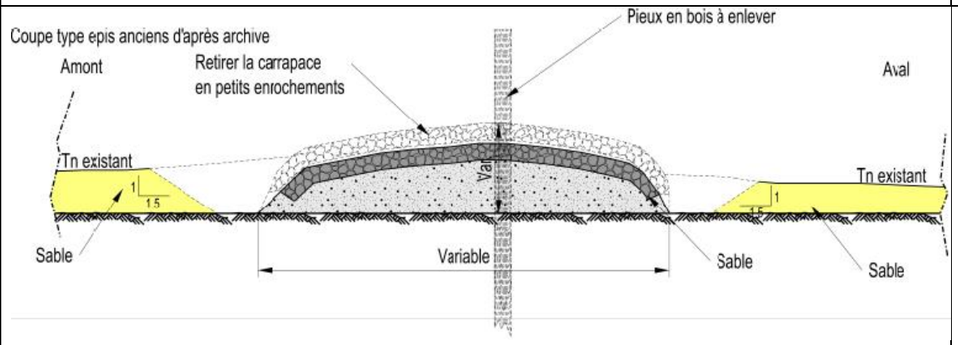
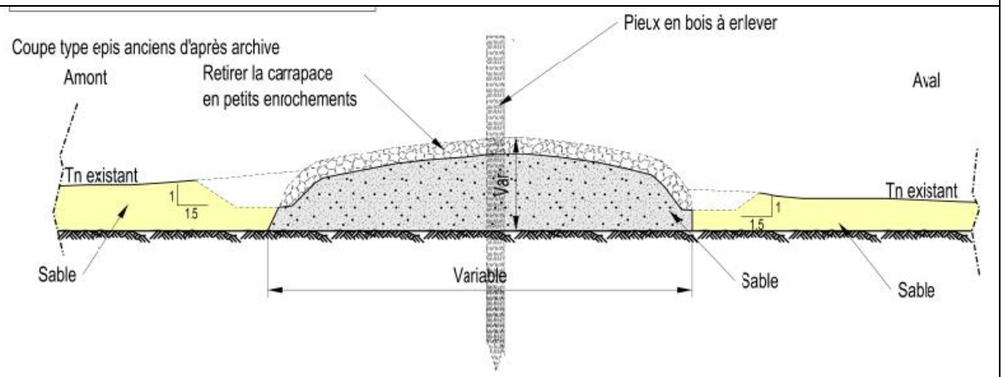
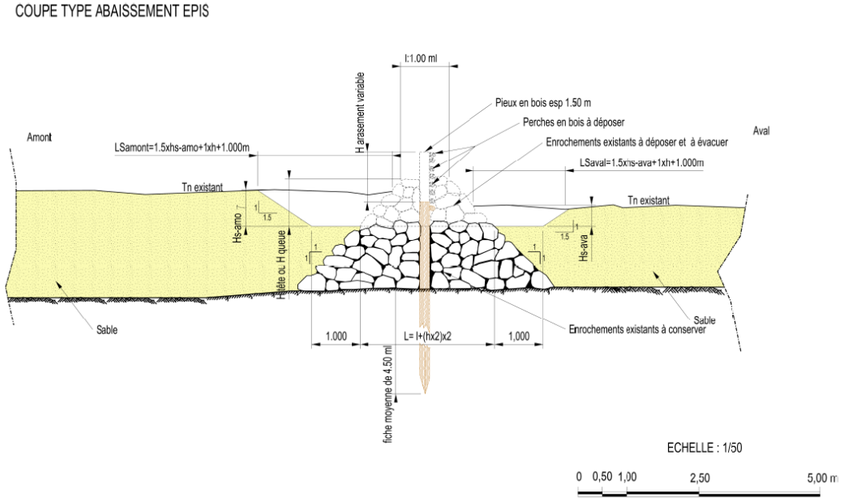


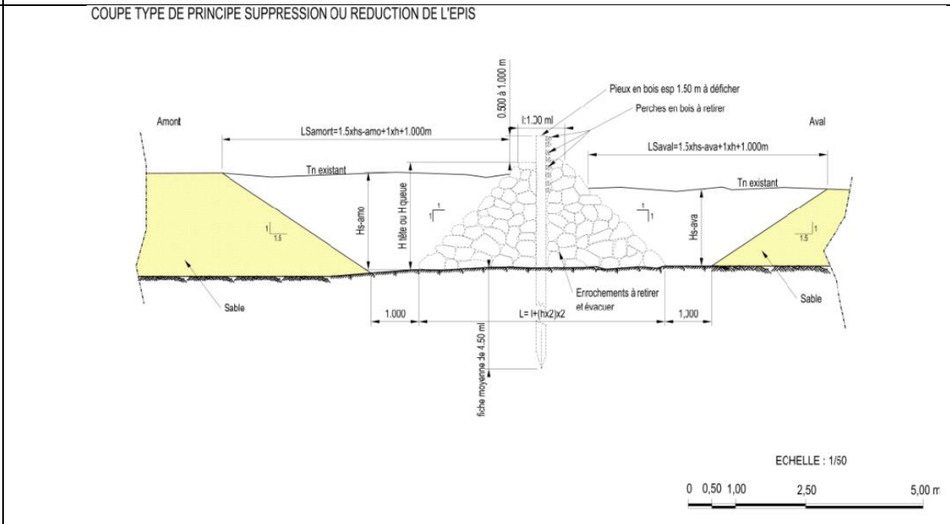
Figure 39 : Types d'épi rencontrés sur le secteur A (source : AVP, ISL, novembre 2017). A gauche, un épi constitué d'un noyau de tout venant et d'une carapace en enrochement. A droite, un épi tout en enrochements.

Tableau 11 : Description des travaux de remodelage en fonction de la nature des épis (source : AVP ISL et Artelia)

<table>
<tr><th rowspan="2">Type d'épi</th><th colspan="2">Nature des travaux</th></tr>
<tr><th>Arasement</th><th>Suppression/Raccourcissement</th></tr>
<tr><td>Carapace en petits enrochements</td><td> 

Décaissement à la pelle mécanique des sables autour de l'épi (sables à laisser sur place)
Retrait des petits enrochements de carapace à la pelle mécanique (à conserver)
Retrait des sables et graviers sous la carapace sur la hauteur d'abaissement fixée (matériaux à laisser sur place)
Cépage des anciens pieux en bois (à évacuer)
Pose des petits enrochements pour reconstitution de la carapace</td><td> 

Décaissement à la pelle mécanique des sables autour de l'épi (sables à laisser sur place)
Retrait des petits enrochements de carapace (à évacuer)
Retrait des anciens pieux en bois (à évacuer)
Les sables et graviers sous la carapace sont laissés. Le remodelage se fera ensuite naturellement au grès des crues de la Loire.</td></tr>
<tr><td>Enrochements</td><td> 

Décaissement à la pelle mécanique des sables autour de l'épi (sables à laisser sur place)
Retrait des enrochements de carapace à la pelle mécanique sur la hauteur d'abaissement fixée (à évacuer)
Cépage des anciens pieux en bois (à évacuer)</td><td> 

Décaissement à la pelle mécanique des sables autour de l'épi (sables à laisser sur place)
Retrait des enrochements de carapace à la pelle mécanique (à évacuer)
Retrait des anciens pieux en bois (à évacuer)</td></tr>
</table>

5.4.1. Modalités spécifiques en accès terrestre

De manière chronologique, les travaux peuvent être décrits comme suit, pour chaque groupe d'épis concerné :

- Etape 1- Installation de chantier et préparation des accès
  - Base vie – parc de matériel et stockage tampon de matériaux
  - Aménagement des descentes sur les grèves.
  - Mise en place de la signalisation et des mesures d'accompagnement ad hoc.
- Etape 2 – Préparation des sites
  - Balisage des zones à protéger
  - Implantation topographique des travaux
  - Mise en place des mesures préventives ou de protection (environnement, usages, patrimoine historique…)
- Etape 3 – Piste sur grève
  - Pour chaque groupe d'épis, on prévoira en général un seul point d'accès à la grève depuis le réseau viaire. Cet accès se fera par une rampe aménagée dans la berge.
  - Ensuite, l'ensemble des épis sera desservi par une piste aménagée en partie supérieure de grève, sans structure particulière, un simple nivellement devant suffire. Il sera probablement nécessaire de prévoir la mise en place d'un géotextile pour éviter la dispersion de fragments de Jussies.
- Etape 4 –Montage piste // épis

Les épis qui seront reprofilés par voie terrestre seront rendus accessibles aux engins sur toute la longueur par l'édification d'une piste non revêtue réalisée hors d'eau par simple mise en remblai et nivellement du sable de la grève. Ces travaux, comme les précédents seront exécutés à la niveleuse et/ou au chargeur.

- Etape 5 – Démontage de la carapace

Sur la section arasée (ou raccourcie), l'entreprise procède au démontage de la carapace à l'aide d'une pelle équipée d'une griffe. S'il s'agit d'un simple raccourcissement ou d'une suppression, les matériaux sont évacués au fur et à mesure. Inversement, s'il s'agit d'un abaissement les gros blocs de carapace sont déposés en cordons sur site pour être ensuite réutilisés lors du remontage de l'épi.

- Etape 6 – Démontage du noyau.

De la même manière, les matériaux constitutifs du corps de l'épi sont terrassés pour amener l'ouvrage à la cote prévue. Ces travaux sont également exécutés à la pelle. Les matériaux sont également disposés en merlon le long de l'épi pour reprise ultérieure ou évacuation.

Les anciens pieux bois lorsqu'ils sont présents, sont recépés (abaissement) ou retirés (raccourcissement).

- Etape 7 – Remontage de la carapace

Après mise à la cote du noyau recépé, les matériaux de carapace sont remis en place suivant le profil projeté.

- Etape 8 – Remise en état des lieux

Après remontage de l'épi selon son profil projeté :

- Les matériaux en excédant (carapace, > 300mm) sont évacués par tombereau jusqu'à un site de stockage tampon accessible aux camions routiers,
- Les matériaux tout-venant constitutifs de noyau d'épi sont triés sur place au chargeur muni d'un godet à grille de manière à séparer la fraction de taille supérieure à 50 mm de la fraction plus fine résiduelle qui est ensuite régalée sur la grève. La fraction grossière sera évacuée également par tombereau.
- Démontage des pistes. Après retrait et évacuation des éventuels matériaux d'apports de taille > 50 mm qui pourraient s'avérer nécessaires pour les passages délicats, les pistes le long des épis et en tête de grèves sont démontées et les matériaux régalés sur site. Les géotextiles sont également évacués et le site est remis en état après nettoyage.
-

Figure 40 : Travaux de remodelage des épis lors de l'expérimentation entre Bouchemaine et Chalonnes en 2008 - voie terrestre (Source VNF)

5.4.2. Modalités spécifiques en accès fluvial

Il convient de distinguer les conditions d'accès fluvial au site du groupe d'épis des conditions d'accès fluvial à l'épi concerné.

Dans le premier cas, il n'est pas possible de trouver un itinéraire d'accès terrestre permettant d'acheminer personnel et matériel sur le lieu des travaux, d'une part et d'évacuer les matériaux en excédent, d'autre part.

Il sera nécessaire d'assurer le transfert par barge de l'ensemble depuis un autre site permettant le chargement/déchargement.

Ceci implique :

- La construction d'une estacade provisoire aux deux points. En l'occurrence, une telle estacade peut être constituée d'une plate-forme métallique reposant sur une série de pieux foncés dans le sable.
- La création d'un chenal provisoire assurant un tirant d'eau satisfaisant pour les barges assurant le transport. Les barges à utiliser seront de capacité modeste (de l'ordre de la centaine de tonnes) pour un enfoncement qui ne devrait guère excéder 1.50 m.
- Ce chenal pourra nécessiter un entretien plus ou moins régulier selon les conditions hydrologiques de la saison et l'hydrodynamisme du lieu.
- Les matériaux à évacuer devront être dépotés à proximité de l'estacade de chargement pour être repris par un chargeur qui les déposera sur la barge.
- A l'autre extrémité, une pelle assurera le déchargement de la barge et le chargement des camions qui transporteront les matériaux sur le lieu de dépôt provisoire ou final.

Les autres conditions d'exécution des travaux restent identiques à celles qui sont décrites au chapitre précédent.

<u>Démontage-remodelage des épis par voie fluviale</u>

Sur certaines sections, les épis à remodeler reposent sur des fonds immergés.

Dans les petits fonds (<50 cm environ), on pourra procéder selon les conditions décrites ci-dessus c'est-à-dire en constituant une banquette latérale à l'épi, hors d'eau et constituant une plateforme de travail.

En revanche, dans des fonds plus importants, le travail pourra être entrepris avec des pelles adaptées aux travaux dans l'eau et les matériaux chargés dans des barges de faible tirant d'eau.

Ce pourra être le cas des têtes d'épis ou de certaines chevrettes jouxtant des fosses.

Figure 41 : Travaux de remodelage d'un épis lors de l'expérimentation entre Bouchemaine et Chalones en 2008 – voie fluviale (Source VNF)

5.4.3. Accès, zones de stockage et circulations d'engins

Les travaux se feront à la fois par voie terrestre à la fois par voie fluviale. La répartition de la part terrestre ou fluviale, notamment pour l'évacuation des matériaux, est à ce stade estimative. La définition précise de l'organisation du chantier sera réalisée directement avec l'entreprise, dans le respect des règles et mesures édictées dans le présent dossier d'autorisation.

Concernant l'évacuation des matériaux, 2 grands scénarios sont envisageables :

- Evacuation directe depuis les différents bancs d'épis : Une zone de stockage temporaire sera présente sur chaque banc d'épis, avec une évacuation en continu des enrochements excédentaires vers un point de valorisation à définir. Dans ce scénario, une évacuation terrestre est privilégiée.
- Evacuation depuis une ou plusieurs zones de regroupement temporaires des matériaux excédentaires : Les enrochements non réutilisés pour le remodelage des épis seraient centralisés sur une ou plusieurs zones de regroupement, en vue d'une évacuation terrestre ou fluviale. Une station de criblage pourrait être installée sur ces zones de regroupement, en vue de préparer les matériaux pour une éventuelle valorisation vers l'aménagement de Bellevue.

Principes retenus pour l'implantation des zones de stockage temporaire : Des zones de stockage temporaire des matériaux excédentaires seront implantées sur chaque banc d'épis et évacuées au fur et à mesure soit vers un point de valorisation à définir, soit vers une zone de regroupement. Ces zones, implantées en lit mineur, devront être évacuées avant la remontée des niveaux d'eau de la Loire.

Pour les éventuelles zones de regroupement, il est retenu le principe de ne pas les implanter en lit mineur de la Loire, mais leur implantation en lit majeur est envisageable. Ces zones doivent également être évacuées progressivement avant la période de crue, donc dès que les niveaux d'eau permettent une évacuation fluviale, si cette dernière est envisagée.

>> La finalisation de l'organisation du chantier, sera réalisée directement avec l'entreprise qui sera retenue pour réaliser les travaux, dans le respect des règles et mesures édictées dans le présent dossier d'autorisation et en concertation avec les communes concernées. Cela concerne notamment la définition précise des accès, des zones de dépôt temporaire et/ou des zones de regroupement temporaires et des circulations des engins.

6. Caractéristiques détaillées du projet sur le secteur C et justification des variantes techniques d'aménagement

6.1 Objectifs généraux de l'aménagement de Bellevue

Le programme d'action spécifique à Bellevue a pour objectif d'amorcer le processus de ré-ensablement du chenal principal et de remontée progressive de la ligne d'eau d'étiage, reposant sur 2 principes sédimentaires :

- La réduction de la pente de la ligne d'eau existante au jusant (marée descendante), dans une gamme de débits allant de l'étiage au module, afin de favoriser un processus de dépôt progressif dans le lit principal par réalisation des ouvrages de type seuils à échancrure ou « épis à radier » assurant une perte de charge significative ;
- La réalisation d'une zone de transition avec la condition limite aval (estuaire) permettant d'assurer, de façon progressive, le raccordement entre les deux lits amont et aval.

6.2 Secteur C : variantes étudiées et description des travaux retenus

6.2.1. Choix du secteur de Bellevue

Le secteur de Bellevue a été identifié comme secteur stratégique pour le rééquilibrage morphologique du fleuve par plusieurs études et expertises menées successivement de 1992 à 2009 (cf. §4.1). Ce site est localisé au niveau de la transition entre le secteur estuarien profond et le secteur fluvial amont. Il se situe au niveau de la « rupture de pente » du fleuve, c'est-à-dire qu'en aval, le niveau du fond du fleuve et le niveau de la ligne d'eau sont plus « plats », alors qu'en amont, la pente s'accentue. Ce choix a été confirmé par le test de plusieurs combinaisons de programmes d'intervention dans le cadre de l'étude stratégique pilotée par le GIP Loire-Estuaire entre 2011 et 2013.

6.2.2. Opportunité d'élargissement du lit

L'opportunité d'élargir le lit à Bellevue pour y ralentir les écoulements, plutôt que d'y créer un nouvel ouvrage a été analysée. Le secteur de Bellevue est particulièrement contraint :

- Le secteur de Bellevue est encadré par la levée de la Divatte en rive gauche et par des zones urbanisées en rive droite.
- Le secteur de l'île Lorideau, situé en rive gauche entre la levée de la Divatte et la Loire accueille le champ captant de l'île Lorideau, qui alimente les collectivités du sud-est de Loire-Atlatique. Les prélèvements sont effectués au moyen de forages situés sur l'île Lorideau. Un périmètre de protection immédiate est instauré autour des forages exploités. Ce périmètre correspond aux limites de l'Île Lorideau délimitée au Sud par la levée de la Loire, à l'Ouest par le Pont de Bellevue et ses ouvrages d'accès et au Nord par la Loire. Le périmètre de protection rapprochée couvre une superficie de 765 ha sur les communes de St-Julien-de-Concelles et Basse-Goulaine. Ce périmètre de protection interdit tout travaux dans cette zone.

Les contraintes existantes sur le secteur de Bellevue rendent impossible la mise en œuvre d'une solution d'élargissement du lit pour ralentir les écoulements.

En outre, l'expertise de M. Lefort menée en 2009 montre que ce type d'action ne permettrait pas l'atteinte des objectifs escomptés de réengravement du lit.

6.2.3. Justification de la localisation de l'aménagement

Afin d'amorcer le processus de ré-ensablement du chenal principal de la Loire en amont de Nantes, il est nécessaire de réduire la pente des lignes d'eau de la Loire pour des faibles débits (étiage à module) au jusant, en réalisant un ouvrage qui crée une perte de charge dans le lit principal.

Dans cet objectif, plusieurs critères ont été analysés pour valider le positionnement et l'étendue de l'aménagement :

- La pente du lit
- La configuration de la Loire
- Le contexte géologique
- Les incidences potentielles de l'aménagement (inondations, pont de Bellevue, Angélique des estuaires, franchissabilité piscicole, boireau de St Sébastien, Marais de Goulaine…)

En intégrant les attentes des acteurs mises en exergues lors de la concertation, quatre scénarios ont été analysés :

I. Implantation en amont du Pont de Bellevue, environ PK 62-63 (telle que définie dans le programme initial) ;
II. Extension de l'aménagement jusqu'à l'aval immédiat du pont (PK61,5-PK63), pour une transition plus douce avec l'aval ;
III. Implantation en aval du Pont de Bellevue (PK 60-61,5) ;
IV. Extension de l'aménagement en aval jusqu'au droit de l'île Héron (PK59 environ) et en amont jusqu'au PK63 environ (Scénario proposé par le Comité pour la Loire de Demain).

Au vu des différents critères proposés, l'analyse qualitative suivante a été dressée :

- Efficacité de l'aménagement au regard des objectifs hydro-sédimentaires et faisabilité technique :

Un déplacement de l'aménagement vers l'aval constitue une mesure de nature à réduire l'efficacité sédimentaire recherchée, avec un risque en particulier que le remous solide attendu ne remonte pas en amont de Mauves. Par ailleurs, une contraction des écoulements doit se faire par un chenal principal plutôt que par plusieurs bras, moins efficaces vis-à-vis de l'objectif à atteindre, notamment sur le plan hydro-sédimentaire.

- Incidence de l'aménagement sur les inondations et sur la capacité d'écoulement des affluents (notamment des vals de la Divatte) :

L'incidence sur les berges de la Loire pour une gamme étendue de débit de la Loire permet d'intégrer l'impact sur le réseau hydrographique connecté à la Loire en aval du PK61. Il faut éviter dans la mesure

du possible tout aménagement en Loire qui réduirait la capacité d'évacuation des débits provenant des vals inondables.

Un ouvrage implanté en aval de Bellevue pourrait entrainer un risque accru d'inondation pour le hameau éponyme, non protégé à ce jour par une digue. Il en est de même pour l'évacuation des débits issus du val inondable situé derrière la levée de la Divatte.

- Incidence de l'aménagement sur l'Angélique des Estuaires, espèce protégée emblématique :

Les études faunistiques et floristiques ont permis de déterminer une cartographie des aires sensibles, remontant jusqu'à Thouaré-sur-Loire. Un aménagement étendu vers l'aval serait plus impactant pour cette espèce protégée.

- Incidence de l'aménagement sur les marais de Goulaine et le boireau de Saint-Sébastien :

L'entrée du bras secondaire de l'île Héron étant localisé en aval de l'aménagement et sur un secteur de faible pente, les gains attendus ne pourraient excéder quelques dizaines de centimètres, selon la configuration. Au vu du différentiel de niveau existant actuellement (alimentation des Marais de Goulaine seulement à marée haute, avec coefficient > 70), il est peu probable que l'effet ressenti soit suffisant pour améliorer significativement ces conditions.

- Incidence sur le pont de Bellevue :

D'un point de vue hydrodynamique, l'aménagement amont accentuerait les courants au droit du pont par effet de jet. Les éventuelles conséquences sur la tenue des piles fondées au rocher devront être évaluées.

- Coût de l'aménagement :

Le coût de l'aménagement a été déterminé par les études de faisabilité pour définir l'enveloppe du projet. Un doublement approximatif du linéaire à aménager conduirait nécessairement à l'adoption d'une révision du programme global de travaux sur la Loire.

En synthèse, l'analyse des configurations de positionnement et d'étendue de l'ouvrage peut être dressée de la façon suivante

Tableau 12 : Analyse des configurations de positionnement et d'étendue de l'ouvrage

	Scénario I	Scénario II	Scénario III	Scénario IV
Efficacité	++	++	-	+/-
Inondations	++	++	-	-
Angélique des Estaires	++	+/-	-	-
Alimentation marais de Goulaine	+/-	+/-	+	+/-
Pont de Bellevue	-	+	++	+
Coût	++	++	+/-	-

Au vu de cette analyse, le scénario II est privilégié en priorité, ou à défaut le scénario I avec une évaluation des effets sur le pont de Bellevue.

6.2.4. Variantes étudiées et justification de la solution retenue

Compte-tenu de ces enjeux importants, 4 familles de solutions contenant chacune 2 variantes ont été étudiées, représentant donc au total 8 variantes.

Le cheminement décisionnel qui a permis de déterminer la variante à retenir et de la détailler s'est déroulé en 4 principales étapes :

1. **En phase d'étude préalable** : analyse multicritère préalable de 8 variantes correspondant à 4 familles de solutions, contenant chacune 2 variantes, ont été étudiées → Choix de 4 variantes à étudier hydrauliquement
2. **En phase d'étude hydraulique** : analyse hydraulique des 4 variantes pré-retenues pour analyse des effets hydrauliques affinée → Choix de 2 variantes à proposer en concertation publique et étudier en phase d'avant-projet sommaire.
3. **En phase d'avant-projet sommaire** : analyse technique (dispositifs constructifs) et hydraulique des 2 variantes retenues pour permettre le choix de la variante finale
4. **En phase d'avant-projet définitif** : analyse détaillée de la variante retenue via une modélisation physique, détermination des dispositifs constructifs et mesures d'accompagnements nécessaires aux abords de l'ouvrage.

6.2.4.1 *Phase d'étude préalable : principes et description sommaire des 4 familles de solution et variantes envisagées*

Les grands principes des scénarios et variantes sont décrits dans le tableau ci-après :

Tableau 13 : Liste des 4 familles de solutions étudiées en phase préalable (Source : AVP EGIS/CNR)

Nom	Description	Commentaires
solution A	Contraction latérale (type épis) en rive droite et rive gauche avec chenal en rive gauche et seuils fluviaux dans le chenal (solution GIP/Hydratec)	Deux variantes possibles sur l'aménagement du chenal (seuils ou tapis rugueux continu) et 2 variantes possibles sur l'aménagement des rives : soit casiers soit tapis rugueux
solution B	Contraction latérale par créations d'ilots avec chenal en rive gauche	Deux variantes possibles sur l'aménagement du chenal (seuils ou tapis rugueux continu) et 2 variantes possibles sur l'aménagement des rives : un seul îlot ou plusieurs
solution C	Contraction latérale avec chenal en rive droite sur le rocher et seuils fluviaux	Deux variantes possibles sur l'aménagement de la rive gauche (épis ou îlots)
solution D	Macro-rugosité de fond par tapis rugueux	Deux variantes possibles : macro-rugosité seule ou couplée avec des structures insulaires pour générer des pertes de charges singulières complémentaires et des chenaux diversifiés d'écoulement

Les croquis suivants décrivent les solutions étudiées.

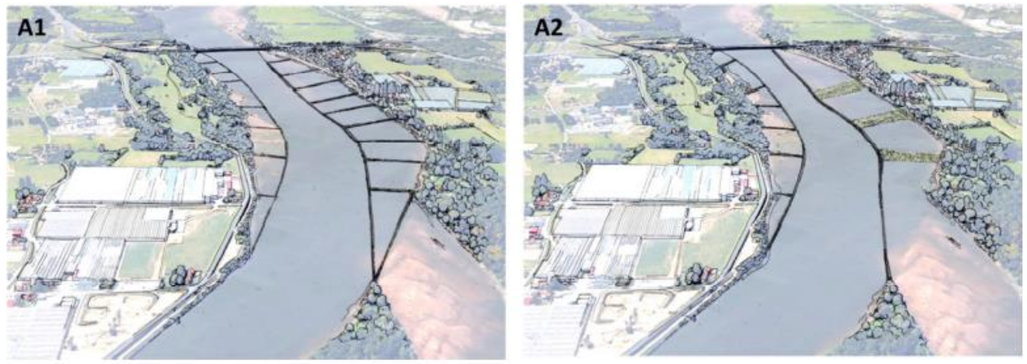


Figure 42 : Famille de solution A et ses 2 variantes A1 et A2, contraction latérale par système d'épis ou tenons avec chenal rive gauche et seuils fluviaux dans le chenal (source EP EGIS/CNR)

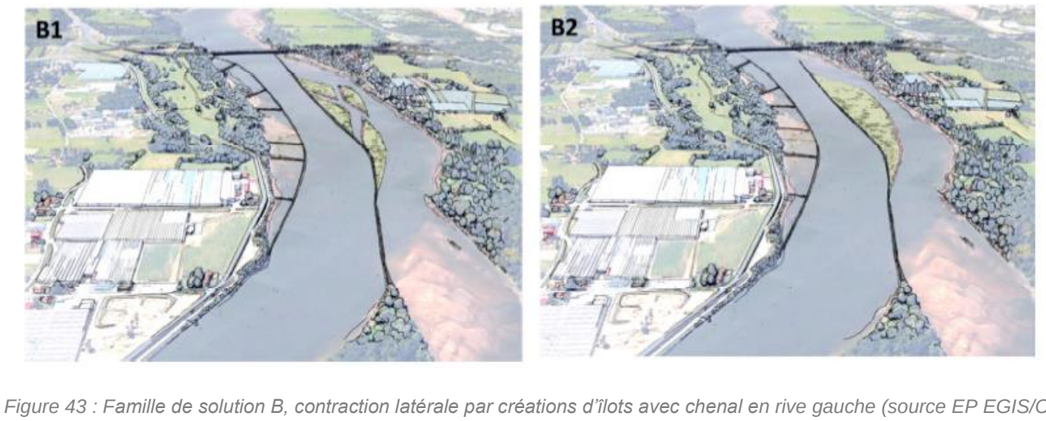


Figure 43 : Famille de solution B, contraction latérale par créations d'îlots avec chenal en rive gauche (source EP EGIS/CNR)

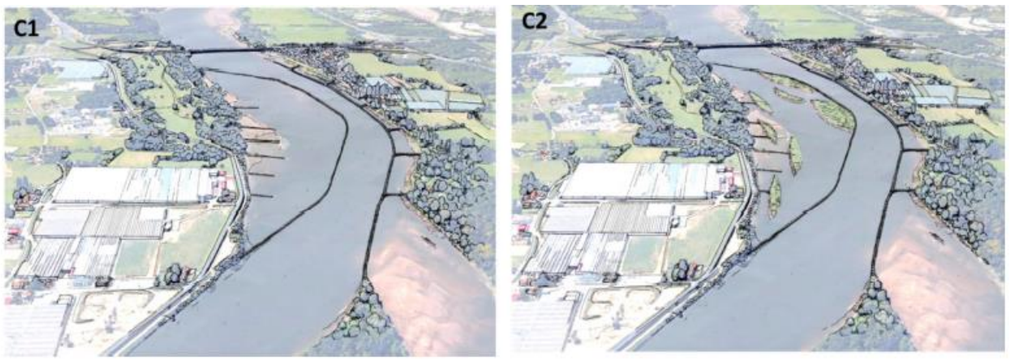


Figure 44 : Famille de solution C, contraction latérale par épis ou îlots avec chenal en rive droite (source EP EGIS/CNR)

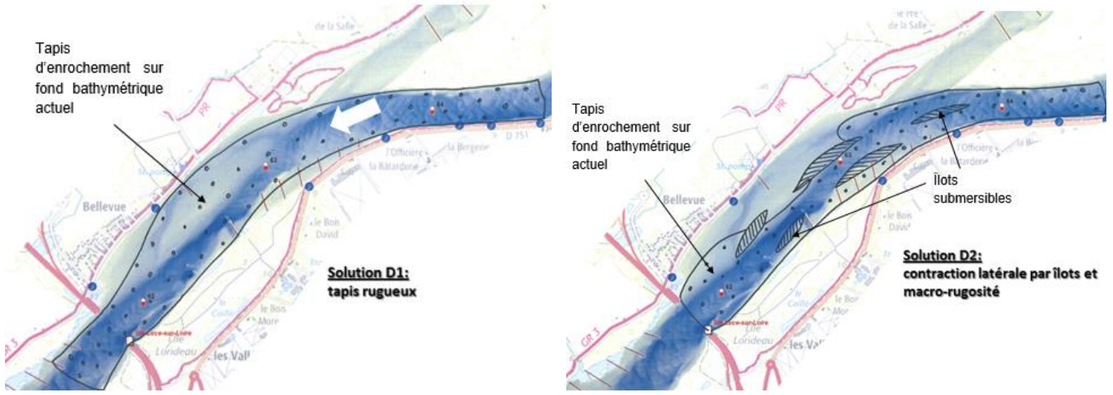


Figure 45 : Famille de solutions D : macrorugosités de fonds et îlots - chenaux multiples

Une analyse multicritères a été réalisée pour mettre en exergue les variantes les plus pertinentes pour l'atteinte de l'ensemble des objectifs visés.

La méthode d'analyse multicritère proposée repose sur **3 paramètres principaux conditionnant** la faisabilité du projet :

- **La satisfaction aux exigences du programme, c'est-à-dire la réponse de chaque variante aux objectifs de l'opération ;**
- **Le respect des contraintes environnementales du site ;**
- **La faisabilité technique.**

Les critères se déclinent en 3 domaines : « Performances attendues par le projet », « Gains & Incidences potentiels sur l'environnement » et « Faisabilité technique ». Les tableaux ci-après détaillent chacun des critères.

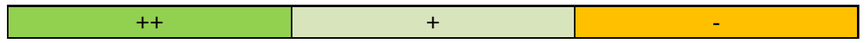
Performances attendues par le projet
Réduction de la pente hydraulique pour favoriser un processus de dépôt progressif
Maitrise de la perte de charge en fonction du débit (augmentation du débit)
Maitrise de la perte de charge dans le temps (par rapport à la contrainte d'entretien)
Réaliser une zone de transition avec la condition limite aval
Piéger/stocker des sédiments dans l'enceinte de l'aménagement
Non aggravation du comblement des bras secondaires (Thouaré)
Lutte contre l'incision du lit
Évolution attendue à long terme

Gains & Incidences potentiels sur l'environnement
Continuité piscicole (L 214-17)
Potentialité écologique apporté par l'aménagement (démarche ERC)
Navigation de plaisance et touristique
Pêche professionnelle
Attrait paysager et acceptation sociétale

Faisabilité technique
Possibilité de valorisation des matériaux issus des autres lots
Disponibilité des matériaux dans la région
Réversibilité de l'ouvrage (dépendance aux techniques)
Pré-chiffrage au stade EP
Facilité de mise en œuvre sur les moyens ou durées (période de travaux)

La notation choisie pour chacun des critères est une appréciation relative entre les différentes variantes d'aménagement : Il était en effet difficile au stade des études préliminaires de quantifier précisément les effets ou impacts potentiels, voire les effets indirects.

Chaque sous-critère cité précédemment a été évalué en fonction de chaque scénario d'aménagement (A1, A2, B1, etc) afin de catégoriser l'effet, c'est-à-dire qu'une échelle de notation a été appliquée pour chaque situation. Cette notation est schématisée ci-dessous, de l'effet positif à gauche vers l'effet négatif *a priori* à droite.



Bien qu'essentiellement « qualitative » à ce stade d'étude, l'analyse des variantes a tout de même permis de dégager des tendances et d'identifier des variantes à retenir dans un premier temps pour la modélisation numérique puis en phase d'avant-projet.

L'analyse multicritère est synthétisée dans le tableau suivant avec, par variantes d'aménagement, les avantages et les inconvénients vis-à-vis des performances attendues du projet, des gains et incidences potentiels sur l'environnement, et de la faisabilité technique. A ce stade d'étude, une pondération simple a été appliquée tous critères confondus, à savoir 60% pour « ++ », 30% pour « + » et 10% pour «- ».

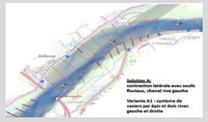
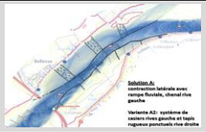
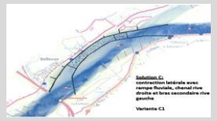
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D
							
	aménagement Hydratec : contraction latérale par tenons et duits, protection partielle fond, chenal RG	*contraction latérale par tenons et duits RG, bombements RD, protection partielle fond, chenal RG*	*contraction latérale par tenons et duits RG, îlots RD, protection partielle fond, chenal RG*	*contraction latérale par tenons et duits RG, 1 île RD, protection partielle fond, chenal RG*	*contraction latérale par tenons et duits, protection continue fond, chenal RD*	*contraction latérale par tenons et duits RD, îlots RG, protection continue fond, chenal RD*	*macro-rugosité*
Performance attendue du projet							
Avantages	Projet conforme aux objectifs du programme	Projet conforme aux objectifs du programme	Projet conforme aux objectifs du programme	Projet conforme aux objectifs du programme	Projet conforme aux objectifs du programme	Projet conforme aux objectifs du programme	
Inconvénients	Risque d'incision probable entre les seuils dans le chenal mais compensable en adaptant une variante avec le scénario A2	La protection contre l'incision du lit necessaire une rampe fluviale	Tenue et stabilité des structures insulaires moins maitrisées dans le temps et la protection contre l'incision du lit necessaire une rampe fluviale	Tenue et stabilité des structures insulaires moins maitrisées dans le temps et la protection contre l'incision du lit necessaire une rampe fluviale	Projet non maitrisé à ce stade d'étude et présentant un risque en terme d'érosion du lit	Projet non maitrisé à ce stade d'étude et présentant un risque en terme d'érosion du lit	
Gains & Incidences potentiels sur l'environnement							
Avantages	maintien de conditions d'écoulement différentiées dans le lit pour la pêche et tirant d'eau mieux garanti	maintien de conditions d'écoulement différentiées dans le lit pour la pêche et tirant d'eau mieux garanti	Idem A1 et A2 avec en plus, potentialité écologique plus élevée et mailleure intégration paysagère	Idem A1 et A2 avec en plus, potentialité écologique plus élevée et mailleure intégration paysagère		Idem C1 avec en plus, potentialité écologique plus élevée	
Inconvénients	Ouvrages plus artificiels, présentant moins de valeur écologique	Ouvrages plus artificiels, présentant moins de valeur écologique			Ouvrages plus artificiels, présentant moins de valeur écologique. Conditions de navigation non garantie à ce stade d'étude.	Conditions de navigation non garantie à ce stade d'étude.	Homogénéité du dispositif sur toute largeur, présentant moins de diversité écologique
Faisabilité technique							
Avantages	Respect du budget (+/- 10%)	Respect du budget (+/- 10%)			Besoin moindre en volume de matériaux	Besoin moindre en volume de matériaux	pas de complexité apparente
Inconvénients	Besoin plus important en volume	Besoin plus important en volume	Besoin plus important en volume et cout plus élevé	Besoin plus important en volume et cout bien plus élevé.	Incertitude sur la faisabilité et le chiffrage sans modélisation numérique	Incertitude sur la faisabilité et le chiffrage sans modélisation numérique	Volume important, non respect du budget
Bilan de la pondération ++	10	11	9	9	9	10	8
Bilan de la pondération +	5	6	7	6	6	5	2
Bilan de la pondération -	2	0	1	2	2	2	7
0,8	7.7	8.4	7.6	7.4	7.4	7.7	6.1

Figure 46 : Analyse des scénarios d'aménagement sur le secteur de Bellevue

Les conclusions de l'analyse sont les suivantes :

- Les deux variantes qui ressortent de l'analyse dans un premier temps sont : B1 et C2.
- La variante A2 ressort également de cette analyse car elle présente de bonnes performances mais son côté « artificiel » est une contrainte vis-à-vis de l'intégration paysagère.
- Des analyses quantitatives font défaut pour réaliser un choix au stade des Études Préliminaires.
- Les variantes C doivent être considérées avec prudence. En effet, le passage du chenal au Nord, directement sur le substrat rocheux peut présenter un certain nombre de risques.
- Les variantes D présentent l'avantage d'être des solutions plus naturelles, mieux intégrées au paysage, mais avec une conception technique et donc une estimation financière difficile à déterminer sans études de modélisation. Elles impliquent dans tous les cas de revoir à la hausse le budget de l'opération.

Afin de compléter l'analyse avec des éléments chiffrés, tant d'un point de vue de la performance de l'aménagement, que de son dimensionnement et de son coût, il a été proposé de retenir, au stade de la modélisation hydraulique, une variante de chaque famille.

Il a été décidé d'étudier les variantes A2, B1, C2 et D2 au travers de la modélisation numérique (2D hydrodynamique), afin de compléter l'analyse multicritère aboutissant au scénario retenu.

6.2.4.2 *Phase d'étude hydraulique des 4 variantes pré-retenues correspondant à chaque famille de solution*

Présentation de la variante A

La variante A assure un rétrécissement du chenal en étiage et à marée basse, grâce à plusieurs aménagements :

- Deux duis parallèles et submersibles, d'une longueur d'environ 1 900 mètres, formant un chenal d'une largeur équivalente au tiers de la largeur totale du lit ;
- Plusieurs tenons transversaux (perpendiculaires à l'écoulement du courant) pour ancrer les duis en berge ;
- Sur le fond du chenal créé par les deux duis parallèles, plusieurs rampes fluviales.

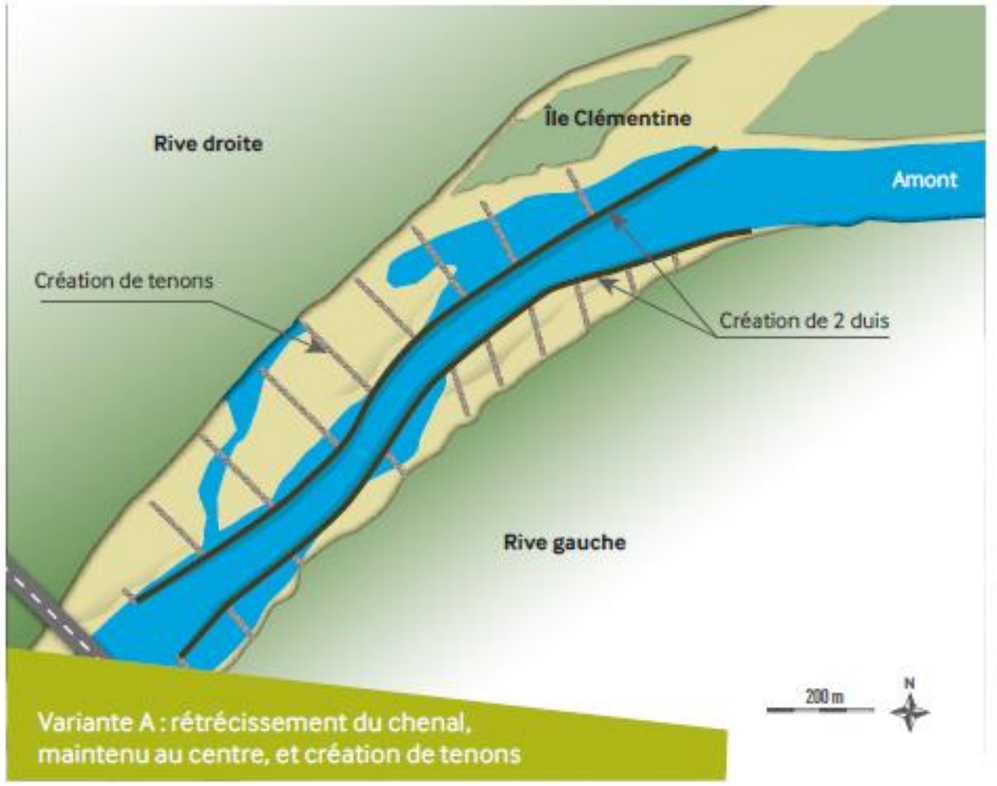


Figure 47 : Variante A (source dossier de concertation)

Présentation de la variante B

La variante B assure un rétrécissement du chenal en étiage et à marée basse, grâce à plusieurs aménagements :

- deux duis parallèles , dont l'un ancré sur le fond rocheux, d'une longueur de 1 200 mètres, formant un chenal d'une largeur de 76 mètres ;
- deux duis en amont de l'ouvrage permettant de rétrécir la largeur du lit de 300 mètres à 76 mètres ;
- deux duis en aval de l'ouvrage permettant de rélargir le chenal ;
- sur le fond du chenal créé par les deux duis parallèles, une rampe en enrochements afin de prévenir toute érosion du fond.

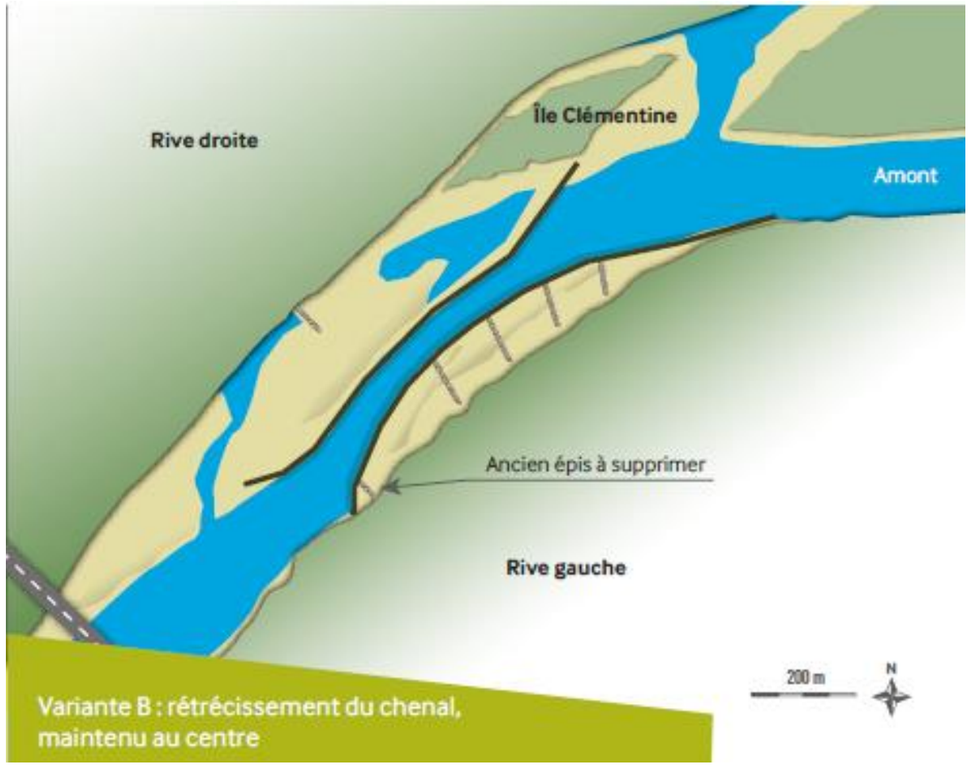


Figure 48 : Variante B (source dossier de concertation)

Présentation de la variante C

La variante C assure également un rétrécissement du chenal en étiage et à marée basse, mais au travers d'un unique duis, oblique par rapport au sens du courant, reportant l'écoulement de l'eau du milieu du lit de la Loire vers la rive droite, comme en 1950. Un second duis est placé dans le prolongement du premier, en parallèle de la rive droite, pour stabiliser l'écoulement.

En outre, des enrochements sont placés au fond du chenal ainsi créé pour augmenter la rugosité du fond et donc ralentir l'écoulement.

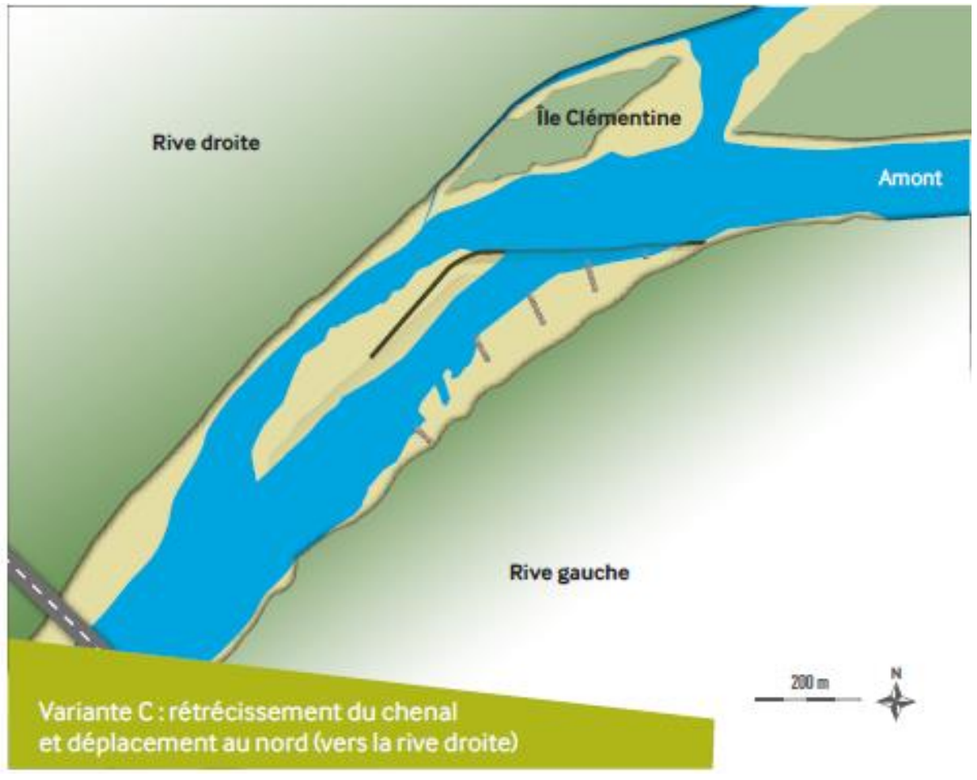


Figure 49 : Variante de solution C (source dossier de concertation)

Présentation de la variante D

La variante D consiste à tapisser le lit d'enrochements, sur un linéaire de 3 kilomètres, afin de réduire la vitesse d'écoulement de la Loire par effet de rugosité.

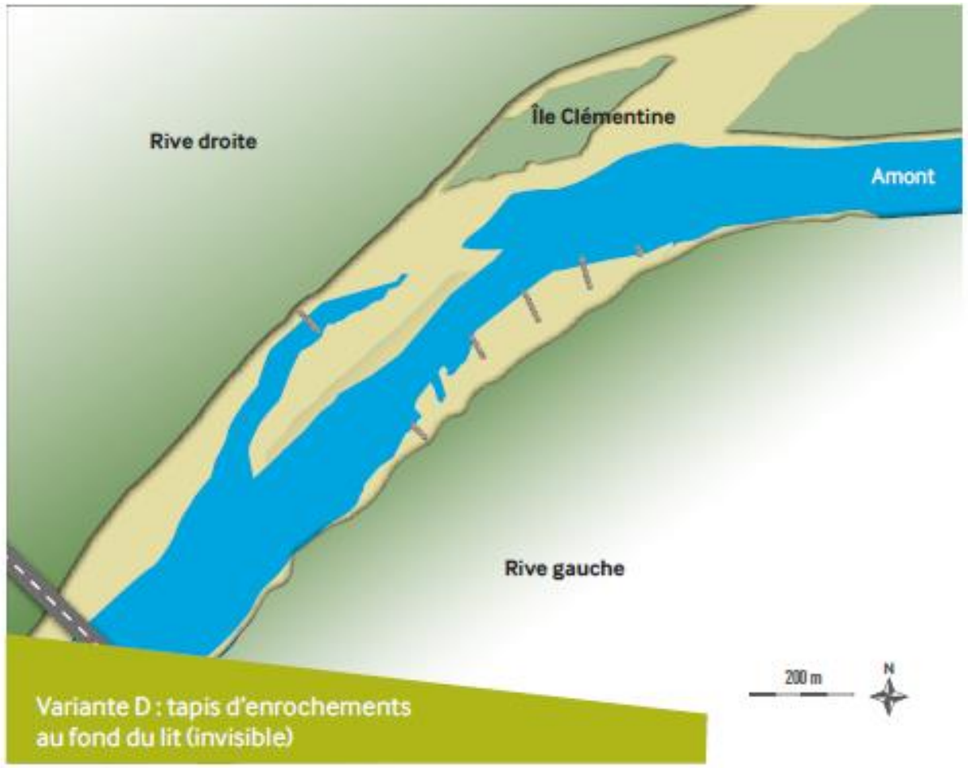


Figure 50 : Variante D (source dossier de concertation)

Synthèse de l'analyse des 4 variantes retenues à l'issue de la phase préalable

Une étude numérique complémentaire a été effectuée via la modélisation hydrosédimentaire. Elle a permis de réactualiser l'analyse multicritère pour les 4 variantes pré-retenues.

Les résultats concernant la performance hydraulique (perte de charge) sont présentés dans le graphique ci-dessous :

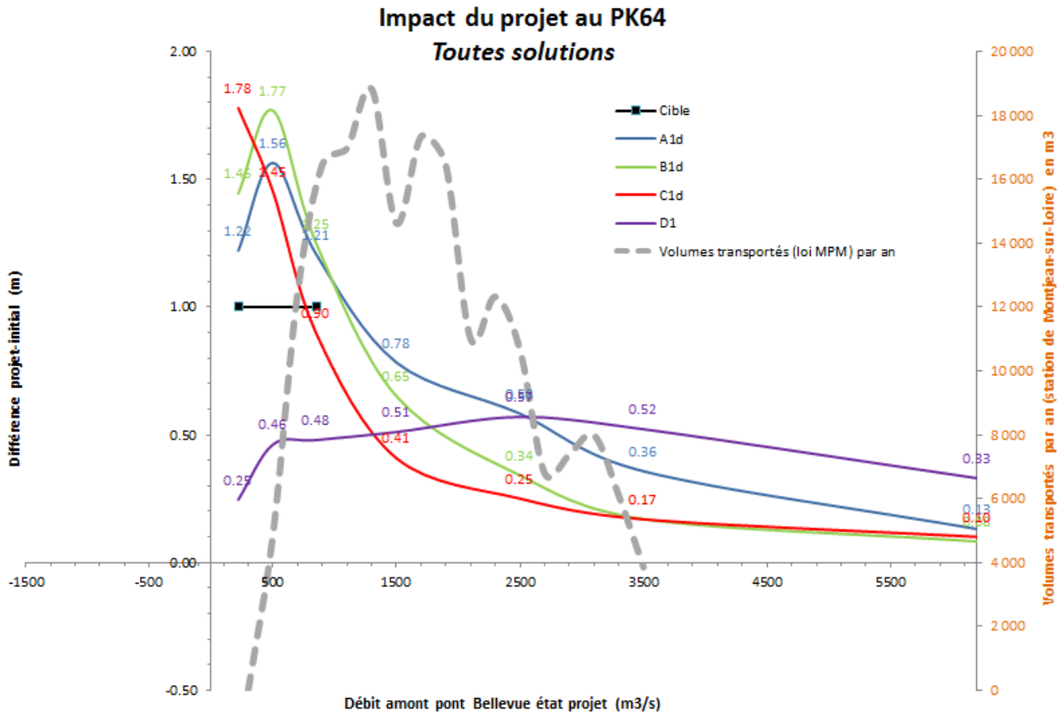


Figure 51 : Performances hydrauliques (perte de charge) des variantes étudiées au stade préalable (source CNR)

A l'issue de cette étape d'étude hydraulique, il a été décidé d'abandonner dans un premier temps la variante D. Elle présente une faible perte de charge en étiage, moins de 50 cm, ce qui ne répond pas aux objectifs du projet. De plus, l'effet hydraulique se poursuit jusqu'en crue avec une trentaine de cm d'effets. Les impacts ne sont donc pas acceptables.

Les variantes A, B et C sont assez proches. La variante A présente une perte de charge un peu moindre en étiage, 1,50m environ. Les variantes B et C sont proches de 1,80 m de gain.

Il a donc été décidé de retenir les variantes B et C sur la base des critères hydrauliques. La dernière phase d'étude avant le choix de la variante finale a ensuite permis de conforter les aspects techniques : faisabilité et coût ainsi que les impacts potentiels sur l'environnement et les usages.

6.2.4.3 *Phase d'avant-projet sommaire des 2 variantes retenues à l'issue de l'étude hydraulique*

Dans cette étape d'étude, les compléments d'analyse encore nécessaires pour distinguer les deux solutions B1 et C1 concernent notamment sur les sujets suivants :

- La réponse hydrosédimentaire des deux solutions
- L'analyse couts/faisabilité technique des 2 solutions
- La pré-analyse des effets écologiques (habitats et espèces protégées)
- La pré-analyse des incidences sur la continuité piscicole
- La pré-analyse des incidences sur les crues

Le tableau page suivante présente le résultat de l'analyse comparative au stade de l'avant-projet sommaire

Il a également été proposé de laisser la possibilité au public de s'exprimer sur les deux variantes d'aménagement en phase de concertation publique.

Tableau 14 : Comparaison des variantes B et C avant choix-final d'aménagement – Stade APS

Les variantes	B	C
CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES		
Volume de matériaux	230 000 m³	55 000 m³
Complexité de mise en œuvre	Forte	Moyenne
Durée prévisible de chantier (selon les conditions hydrologiques)	3 ans (discontinus)	1 an
Coût prévisionnel	22 à 24 M€	13,5 à 15,5 M€
EFFICACITÉ HYDRAULIQUE ET SÉDIMENTAIRE		
Efficacité sur les niveaux d'eau		
- en étiage	+ 190 cm à Thouaré	+ 170 cm à Thouaré
- au débit moyen	+ 130 cm à Thouaré	+ 80 cm à Thouaré
Efficacité sédimentaire (hypothèse haute d'apports solides)		
- dépôt maximum	+ 85 cm à Thouaré	+ 80 cm à Thouaré
- dépôt moyen (moyenné sur 1 km)	+ 80 cm à Thouaré + 26 cm à Oudon	+ 68 cm à Thouaré + 24 cm à Oudon
EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT ET LES USAGES		
Fonctionnement de l'estuaire	Abaissement des basses mers, de 20 cm en aval de l'ouvrage après travaux Neutralité à 50 ans d'après le modèle global (à vérifier sur le modèle 3D)	Abaissement des basses mers, de 30 cm en aval de l'ouvrage après travaux Neutralité à 50 ans d'après le modèle global (à vérifier sur le modèle 3D)
Niveau de crue (exemple de la crue de 1982) Après 50 ans avec la rehausse des fonds et la suppression des seuils du bras de Thouaré, en comparaison avec le scénario tendanciel « sans aménagement »	Légère rehausse de la ligne d'eau dans le bras principal + 4 cm en aval du pont d'Oudon + 5 cm au niveau de La Pierre-Percée + 7 cm au niveau de l'Ile Clémentine Neutralité sur la ligne d'eau dans le bras principal au niveau de Bellevue et en aval Légère rehausse de 3 cm du niveau d'inondation dans le hameau de Bellevue	Légère rehausse de la ligne d'eau dans le bras principal + 2 cm en aval du pont d'Oudon + 2 cm au niveau de La Pierre-Percée + 3 cm au niveau de l'île Clémentine Neutralité sur la ligne d'eau dans le bras principal au niveau de Bellevue et en aval Baisse de 4 cm du niveau d'inondation dans le hameau de Bellevue
Faune-Flore	Impact supérieur en emprise et en phase chantier Meilleure efficacité pour la connexion des annexes hydrauliques	Impact plus faible en emprise et en phase chantier Bonne efficacité pour la connexion des annexes hydrauliques
Franchissabilité piscicole	Ouvrage franchissable, mais plus impactant que C en raison d'une augmentation des vitesses	Ouvrage franchissable, moins impactant que B
Navigation et usages	Création de zones latérales de remous hydrauliques le long des duits amonts, à signaler pour la navigation Augmentation des vitesses dans le chenal pour les débits faibles à moyen, en marée basse	Création d'une zone de remous hydrauliques le long du duit transversal, à signaler pour la navigation Augmentation des vitesses dans le chenal pour les débits faibles à moyen, en marée basse
Paysage	Duits visibles environ la moitié de l'année à basse mer (de l'étiage jusqu'au débit moyen) Réduction des écoulements au droit du village à marée basse	Duit transversal sous eau en permanence, avec un écoulement similaire à celui d'un radier. Partie longitudinale sur le seuil rocheux visible à marée basse Augmentation des écoulements au droit du village à marée basse

➔ **Choix et justification du scénario retenu**

A efficacité hydraulique et sédimentaire légèrement moindre que la variante B, la variante C présente globalement des effets équivalents ou plus favorables sur les autres aspects étudiés (environnementaux et faisabilité technique). Elle présente également un coût sensiblement inférieur à la B.

L'aménagement de Bellevue, en ralentissant la vitesse d'écoulement et en réduisant la pente de la ligne d'eau favorisera le dépôt de sédiments et ainsi le réengravement du fond du lit. Sur l'aire d'étude globale, la rehausse des fonds à 50 ans sera environ 30 % plus importante avec l'ouvrage. Elle sera également plus rapide qu'en son absence : à 30 ans, la rehausse sera 70 % plus importante avec l'ouvrage que sans. L'effet combiné des actions du programme permettra ainsi d'atteindre un dépôt de plus de 1,5 millions de mètres cubes de sédiments dans le chenal navigable par rapport à une situation sans mise en œuvre du projet, conformément aux objectifs fixés initialement.

6.2.4.4 *Optimisation du scénario retenu*

Réduction du ressaut hydraulique

Le duis transversal a été conçu et optimisé de façon à réduire au maximum la dangerosité liée au ressaut hydraulique créé par l'ouvrage. L'optimisation a porté sur les éléments suivants :

- Diminution légère de la crête de l'ouvrage ;
- Epaisseur de la crête retenue à 10 m ;
- Aménagement d'épis de rugosité dans le chenal nord ;
- Raccord en rive gauche avec un remodelage du banc d'épis existant et une crête rehaussée.

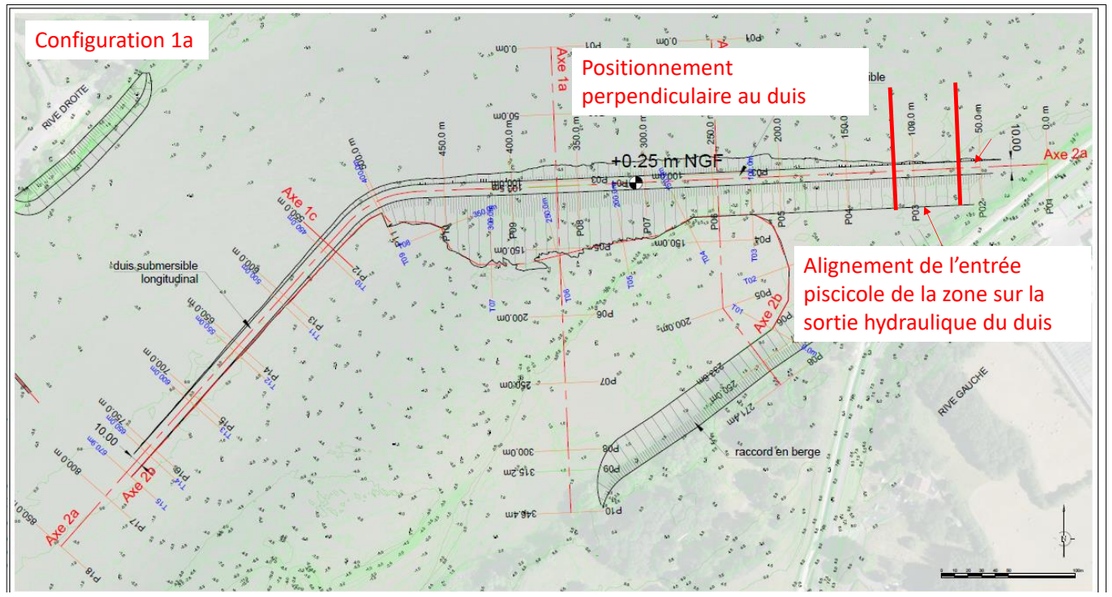
Toutes ces optimisations ont conduit à réduire les vitesses en sortie du chenal nord et améliorer la dissipation d'énergie en pied d'ouvrage.

Optimisation de la franchissabilité piscicole

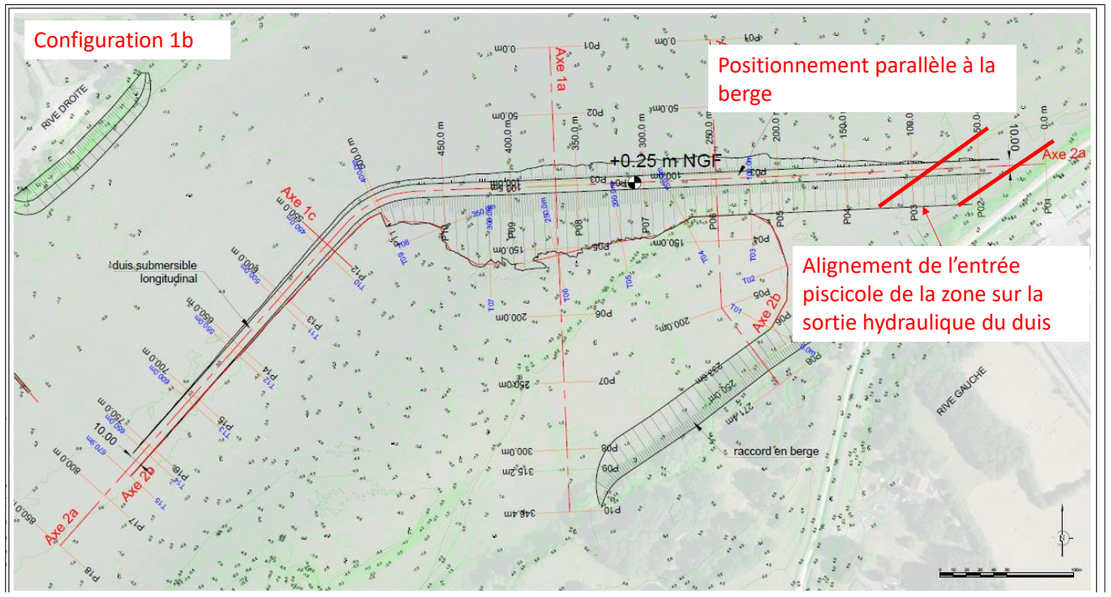
Le duis transversal a également été optimisé pour concevoir un projet qui n'impacte pas la continuité écologique. Franchissable en tout temps par le chenal au nord, l'angle du duis au niveau de la rive gauche a été conçu pour améliorer la franchissabilité par le chenal au sud, quelles que soient les conditions de débit et de marée. La zone d'optimisation piscicole est complètement intégrée à l'ouvrage.

L'implantation de cette zone a été optimisée en tenant compte de la géométrie bien spécifique du secteur et de l'orientation des écoulements. Les configurations suivantes ont été étudiés :

- **Configuration 1a** : Positionnement perpendiculaire au duis et alignement de l'entrée piscicole de la zone sur la sortie hydraulique du duis



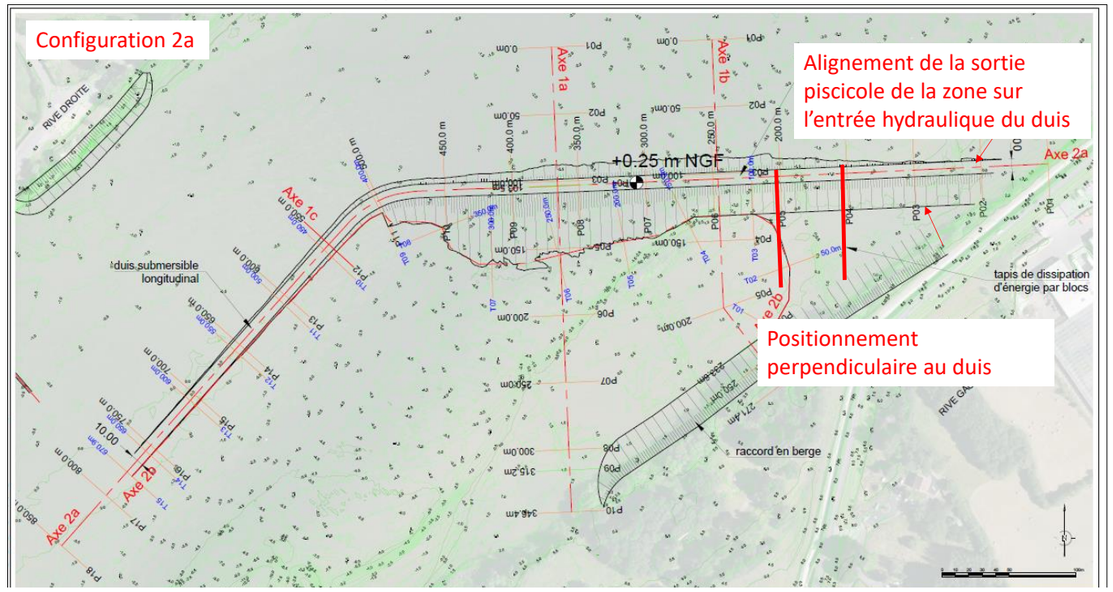
- **Configuration 1b** : Positionnement parallèle à la berge et alignement de l'entrée piscicole de la zone sur la sortie hydraulique du duis



Ces configurations posent un problème rédhibitoire : elles nécessitent la séparation des écoulements entre le duis et la zone optimisée. Or, compte tenu des variations de niveau quotidienne, en lien avec la marée, et saisonnière, en lien avec la grande amplitude de débit sur la Loire, cette séparation s'avère

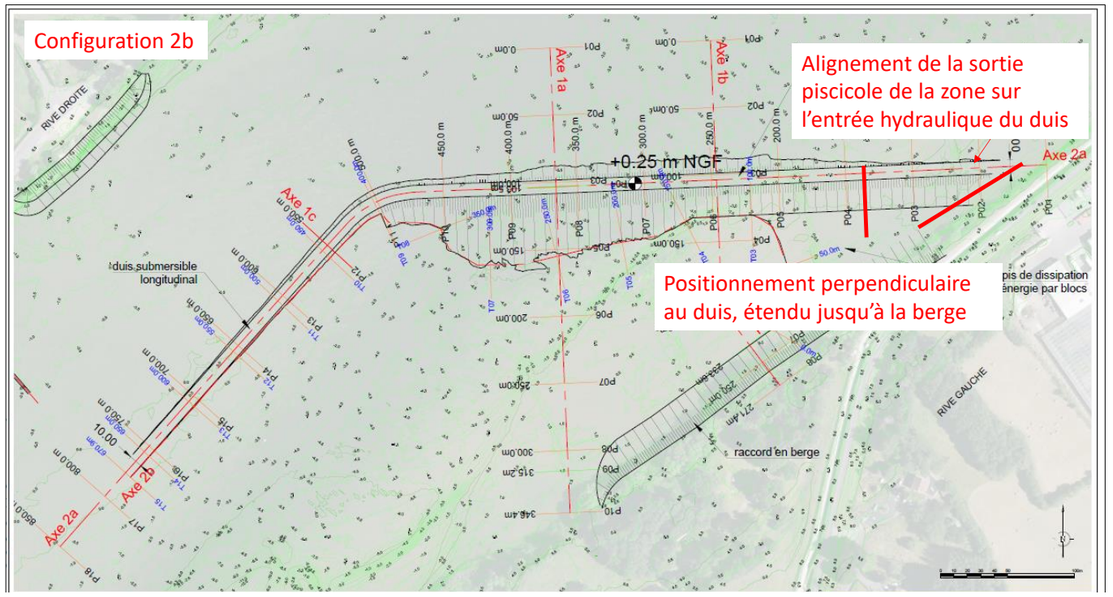
impossible ou nécessiterait la construction d'ouvrages plus importants que le duis lui-même. Ces configurations ont donc été écartées. L'ouvrage ne peut être prolongé vers l'amont, il apparaît donc nécessaire de caler la sortie piscicole sur l'entrée hydraulique du duis.

- **Configuration 2a** : Positionnement perpendiculaire au duis et alignement de la sortie piscicole de la zone sur l'entrée hydraulique du duis



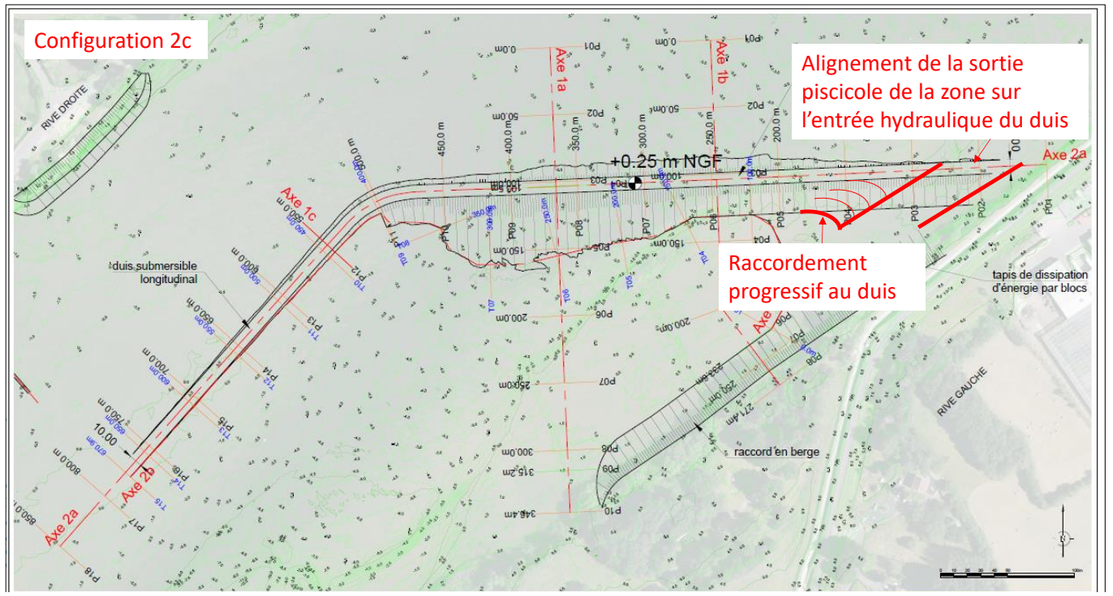
Cette configuration ne s'avère pas correctement intégrée à l'ouvrage : elle crée deux angles entre le duis et la rampe, potentielles impasses pour les poissons, et une zone de circulation hydraulique très complexe le long de la rive gauche, risquant de perturber fortement les écoulements localement.

- **Configuration 2b** : Positionnement perpendiculaire au duis étendu jusqu'à la berge et alignement de la sortie piscicole de la zone sur l'entrée hydraulique du duis.



Cette configuration supprime le point de complexité en rive gauche, mais génère une « brèche » beaucoup trop large dans l'ouvrage : l'efficacité hydraulique du duis pour atteindre les objectifs du projet n'est plus assurée.

- **Configuration 2c** : Positionnement parallèle à la berge, alignement de la sortie piscicole de la zone sur l'entrée hydraulique du duis et raccordement progressif au duis



C'est le principe de cette configuration 2c qui a été retenu : cette implantation offre la meilleure intégration dans l'ouvrage, tout en offrant le meilleur positionnement en terme d'attractivité piscicole.

Les principes géométriques généraux de la zone optimisée sont les suivants :

- Création d'une ouverture pour augmenter la hauteur d'eau disponible sur la zone optimisée
- L'ouvrage présentera une pente latérale, perpendiculaire à l'écoulement, de 1 à 2%, dans l'objectif d'offrir un gradient de hauteurs d'eau et de vitesses pour les différentes espèces ;
- La différence altimétrique sera comblée par 3 rampes présentant une pente de 4% maximale.
- Ces 3 rampes seront séparées par deux bassins de repos profonds de 1 m.

4 scénarios de géométrie différentes ont ainsi été étudiés :

	Scénario 0	**Scénario A**	**Scénario B**	**Scénario C**
Echancrure	-0,5 mNGF	0 mNGF	-0,25m NGF	-0,5 mNGF
Pendage latéral	2%	1%	1,4%	2%
Longueur rampes	12,5m	12,5m	16,66m	16,66m
Pente des rampes	4%	4%	3%	3%
Bassins	12m	12m	12m	12m

Ces 4 scénarios ont été testés de façon itérative, en ajustant entre chaque essai la cote de l'échancrure et/ou la pente et la longueur des rampes. Les principales conclusions successives ont été les suivantes :

Scénario 0 : Amélioration des tirants d'eau, mais forte accélération des vitesses à 220 et à 500m3/s

> *remontée de la cote d'échancrure de + 0,5m*

Scénario A : Tirants d'eau trop faibles. Survitesses restent importantes à 500 m3/s

> *réduction de la pente et allongement des rampes et abaissement de la cote d'échancrure de -0,25m*

Scénario B : Solution satisfaisante à 500 m3/s et nette amélioration à 220 m3/s (mais tirants d'eau limitants pendant 2h au jusant)

> *abaissement de la cote de -0.25m (=idem scénario 0)*

Scénario C : Solution satisfaisante à 220 m3/s mais augmentation des vitesses à 500 m3/s et à 800 m3/s

L'enjeu migratoire étant plus fort au module, voire à 500m3/s (en limite de période de migration), qu'à 220m3/s (hors période de migration), il apparaît pertinent de favoriser une meilleure efficacité pour ces débits. Le scénario B a ainsi été retenu.

6.3 Présentation détaillée du projet retenu et modalités d'interventions

6.3.1. Conception du duis transversal et des ouvrages attenants

Le projet comporte un duis principal assurant la perte de charge et plusieurs ouvrages attenants et mesures d'accompagnements.

Le duis principal
C'est l'ouvrage qui a pour fonction d'assurer la perte de charge. Il s'agit d'un duis transversal à l'écoulement permettant d'orienter le courant vers le chenal Nord de la Loire. Il comprend une zone optimisée pour la migration piscicole, située en rive gauche, afin de rendre le duis franchissable par conception.

Les ouvrages attenants du chenal nord
Il s'agit d'ouvrages qui permettent d'assurer la continuité hydraulique entre le duis et la sortie du chenal nord :

- 3 rampes fluviales en enrochements assurent la rugosité du chenal nord
- Un tapis en enrochements aval accompagne la sortie hydraulique du toit rocheux

Les mesures d'accompagnements
Elles concernent :

- La protection de la berge en rive droite à Bellevue
- Le démantèlement des épis dans le bras de Thouaré pour rendre le projet neutre vis-à-vis des inondations ;
- Des mesures de signalisation pour la navigation.

La carte page suivante est issue de l'avant-projet détaillé (EGIS/CNR, Mai 2019) et permet d'illustrer les différents éléments du projet.

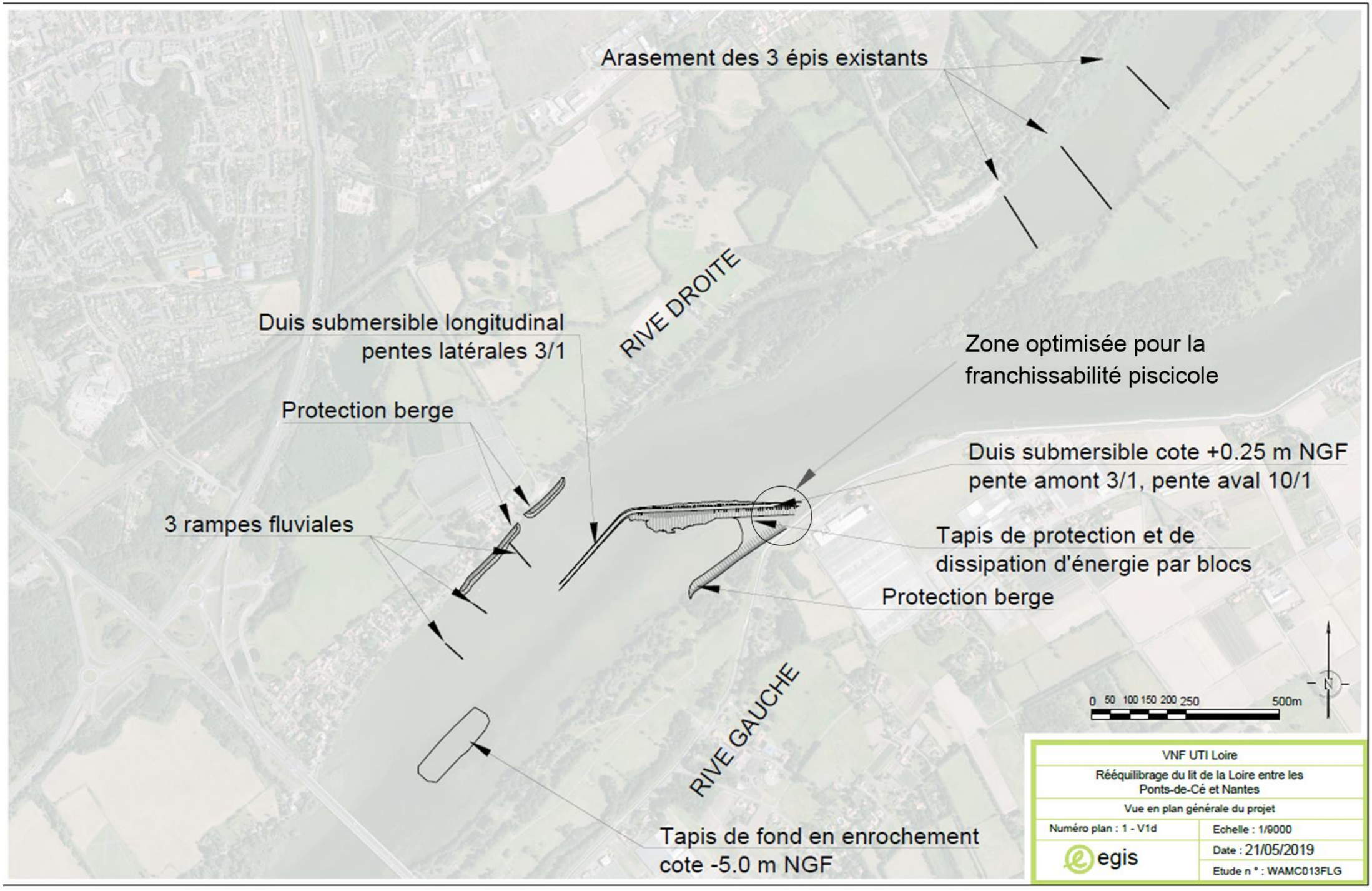


Figure 52 : Vue en plan du projet global sur le secteur C (source EGIS/CNR)

6.3.1.1 *Description du duis transversal*

Le dimensionnement de l'ouvrage est le suivant :

- Longueur (partie transversale) : 500m
- Longueur (partie longitudinale, en liaison avec le socle rocheux) : 250m
- Largeur de crête : 10m
- Largeur totale : variable 50 à 80m environ sur la partie transversale
- Pente du parement amont : 3/1
- Pente du parement aval : 10/1

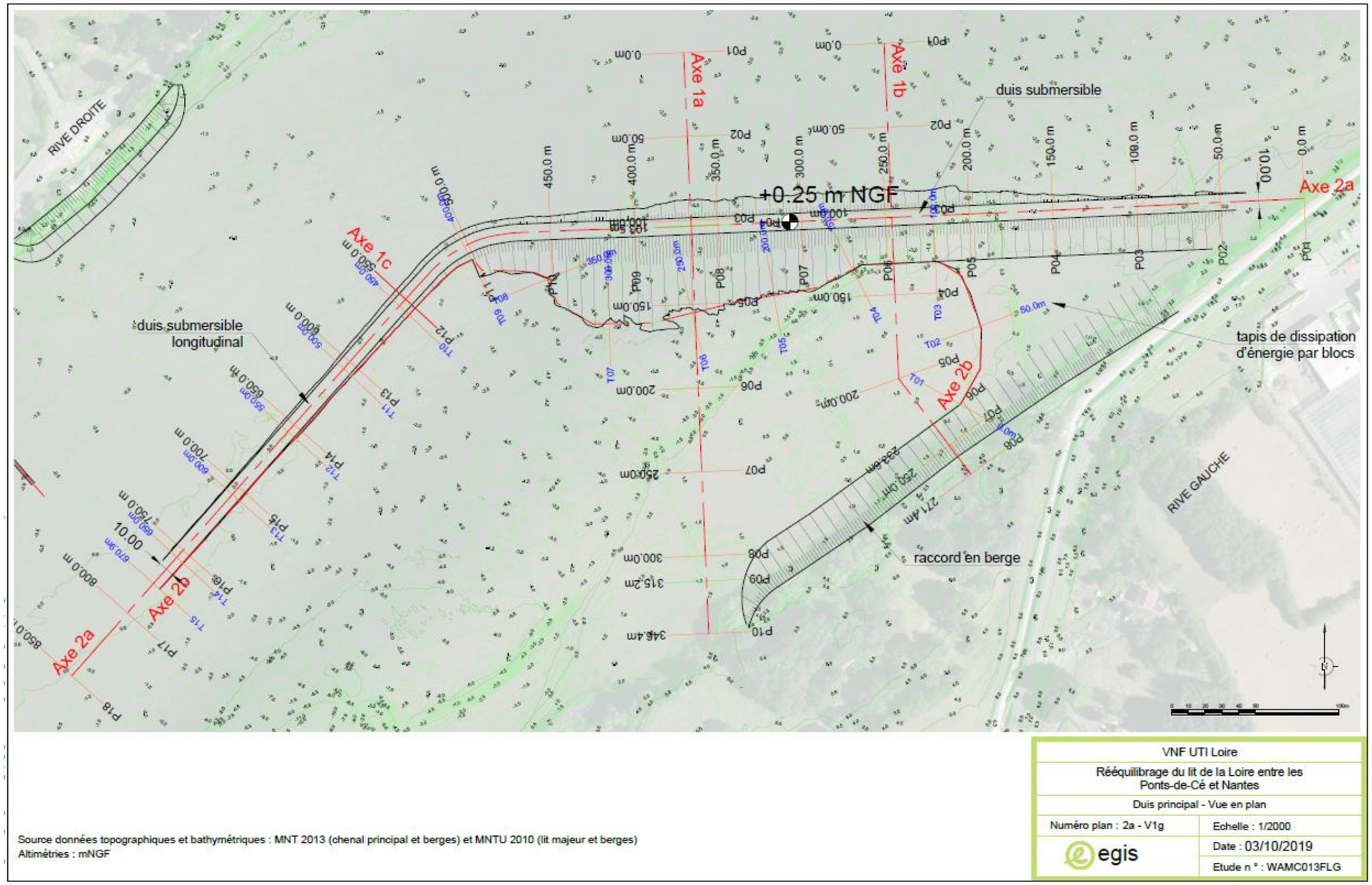


Figure 53 : Vue en plan du duis transversal

Les dispositifs techniques de construction doivent répondre aux objectifs et aux contraintes du site :

- Réponse aux objectifs du projet : l'ouvrage doit être étanche pour assurer la perte de charge requise et être adaptable en cas de besoin d'évolution du programme ;
- Réponse aux contraintes du site: les travaux devront être réalisés en eau et la conception des ouvrages doit intégrer cette contrainte de mise en œuvre.

La solution retenue présente ainsi une conception mixte gabions/enrochements. La mise en œuvre implique de recourir à la solution la plus simple possible. La coupe type proposée a ainsi été simplifiée au maximum avec :

- Une carapace ;
- Un noyau faisant également office de couche filtre ;
- Une butée de pied en enrochement.

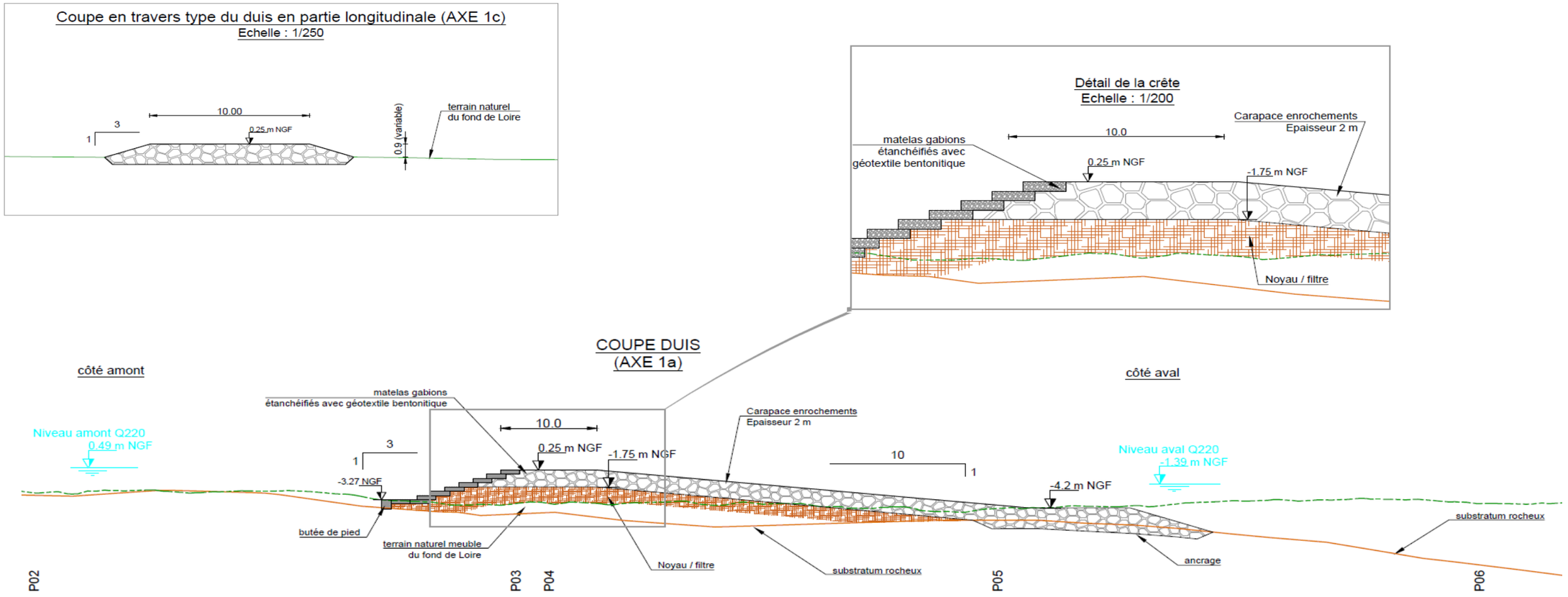


Figure 54 : Coupe transversale du duis principal en enrochements (Source EGIS/CNR)

Les caractéristiques de la zone optimisée pour la franchissabilité piscicole sont les suivantes :

- Implantation au niveau de l'extrémité amont du duis et de la berge rive gauche attenante,
- Entrée piscicole (sortie hydraulique) du dispositif alignée avec le duis grâce à un raccordement progressif, dont la pente et l'épaisseur sont adaptées pour ne pas former un angle créant une impasse pour les poissons en montaison,
- Pente latérale, perpendiculaire à l'écoulement, de 1,5%, dans l'objectif d'offrir un gradient de hauteurs d'eau et de vitesses pour les différentes espèces ;
- 3 rampes avec une pente de 3% (pente maximale dans l'axe d'écoulement de 3,95%) ;
- 3 rampes séparées par deux bassins de repos profonds de 1 m,
- Raccordement de la rampe au duis avec une pente maximum de 10% afin de ne pas séparer les écoulements de la rampe du reste du duis compte tenu du contexte marnant et des fortes variations de débit sur ce secteur. En effet, la séparation des écoulements par un merlon en enrochements risquerait de générer un obstacle latéral pour les poissons qui rejoindraient la rampe par le côté duis,
- Réduction de la taille des blocs sur l'ouvrage pour garantir une hauteur de lame d'eau suffisante (ce qui implique des interstices entre les enrochements faibles).
- Mise en œuvre de macroplots en enrochements (0,70m de diamètre environ) au sein des rampes afin d'augmenter leur rugosité et ainsi réunir toutes les conditions hydrauliques favorables au franchissement piscicole.

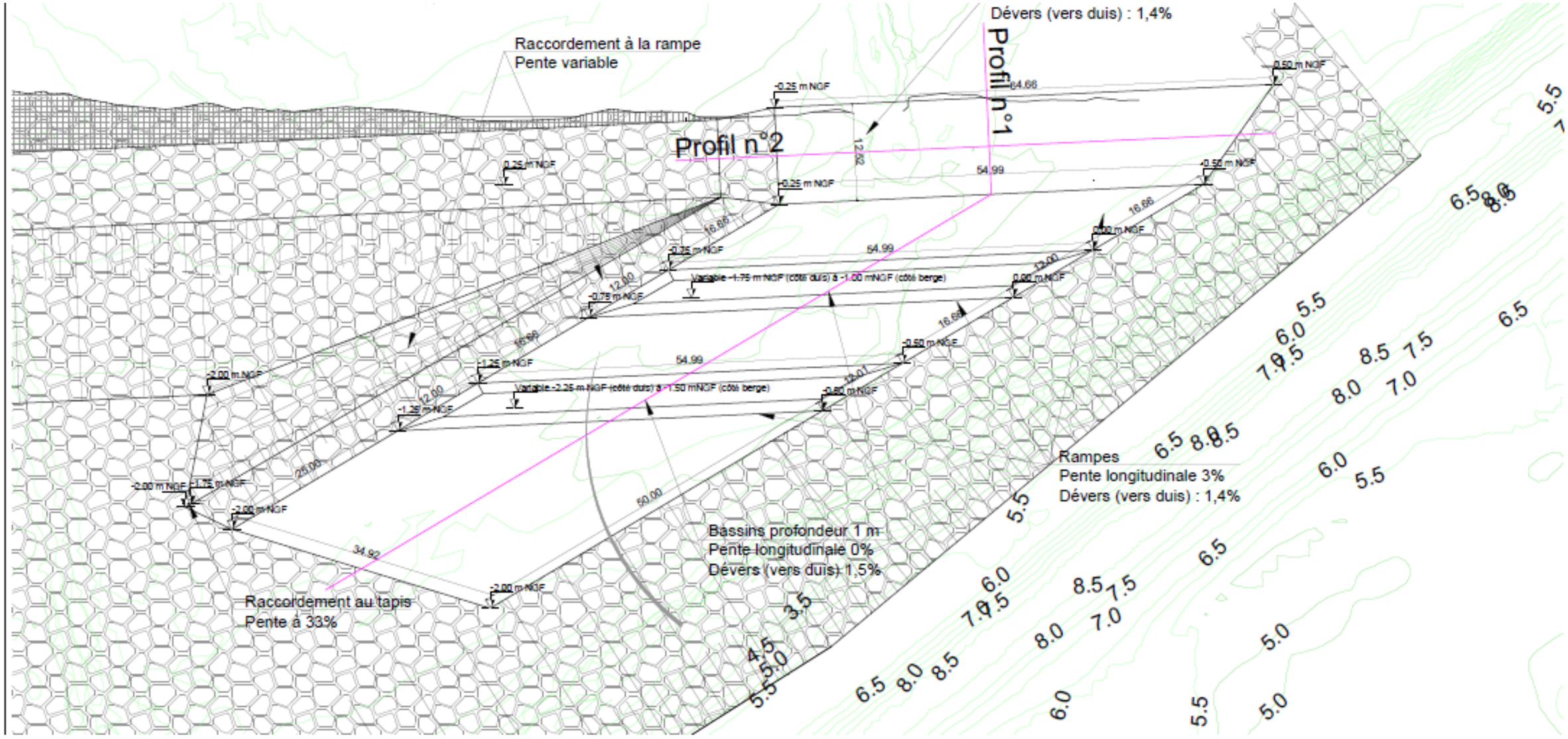


Figure 55 : Vue en plan de la zone optimisée pour la franchissabilité piscicole

Ouvrages attenants au duis

Tapis en enrochement aval

Un grand tapis constitué d'enrochements sera créé en sortie du toit rocheux pour accompagner la sortie hydraulique du courant. Les enrochements seront clapés sur une couche d'environ 1m.

Conception des 3 rampes sous-fluviales

Trois « rampes sous fluviales » seront réalisées en enrochements, posées sur rocher. Elles ont pour rôle d'assurer la rugosité du chenal nord et de limiter les vitesses. Leur hauteur est faible et varie autour de 1m.

Protection des berges

Le long du hameau de Bellevue, les berges seront protégées par des techniques de génie végétal. La partie basse sera en enrochements et la partie haute végétalisée. Le détail de cette protection de berges est à retrouver dans le livrable Milieu biologique et évaluation des incidences Natura 2000.

Zoom profil en travers protection de berges

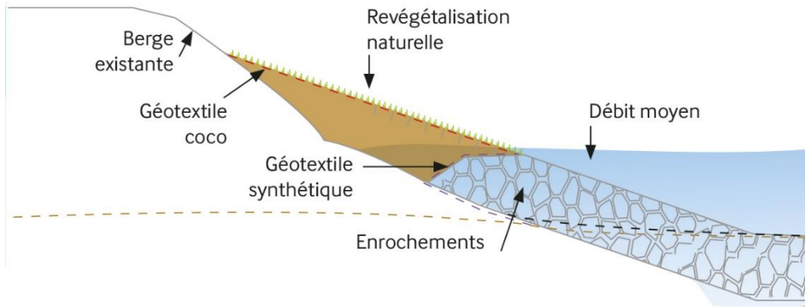


Figure 56 : Profil en travers de la future protection de berges en rive droite

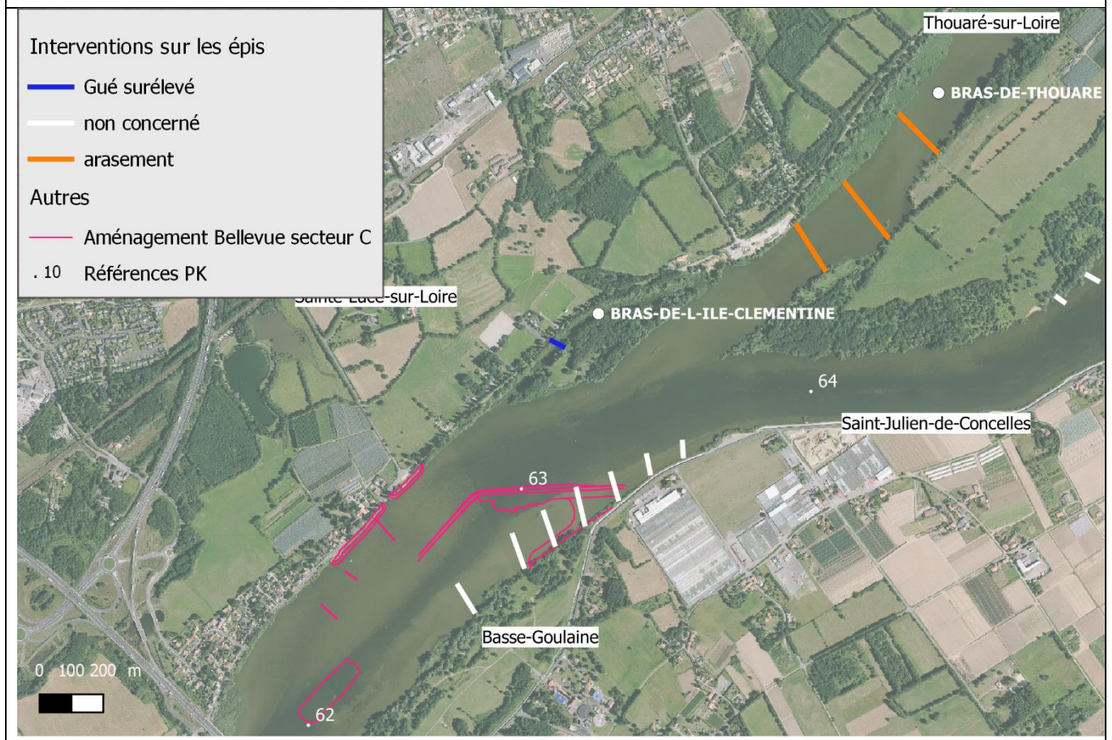
Arasement de seuils dans le bras de Thouaré

Les seuils (épis barrant l'ensemble du bras) situés en aval du bras de Thouaré seront arasés. Ces travaux constituent une mesure d'accompagnement du projet afin de rendre le projet neutre vis-à-vis des crues.

Une étude hydraulique a été menée par Hydratec afin de valider les effets attendus en crues par l'arasement des seuils. Elle confirme que cette mesure permet d'éviter une augmentation des inondations au droit des enjeux (habitations) via une meilleure répartition des débits entre les deux bras.

6.3.1.2 *Zoom sur le bras secondaire de l'île Clémentine*

Bras de l'île Clémentine (secteur C)



Actions prévues sous la maîtrise d'ouvrage de VNF

- Relèvement de la ligne d'eau d'étiage, basse mer.

Objectifs des actions de restauration du bras à mener sous la maitrise d'ouvrage de la ville de Sainte-Luce-sur-Loire

- Préserver / diversifier les habitats ;
- Concilier le réhaussement de la ligne d'eau d'étiage, le rétablissement de la continuité du bras et l'enjeu de maintien des activités adaptées sur l'île (accès), notamment vis-à-vis du passage à gué.

6.3.1.3 *Planning d'intervention envisagé et modalités de réalisation des travaux*

Les périodes habituellement retenues pour la réalisation des travaux en Loire vont du 1er septembre au 31 novembre. Une variabilité annuelle est liée aux conditions climatiques et hydrologiques.

La réalisation des travaux pour les ouvrages attenants au duis est prévue sur la période écologiquement et hydrologiquement la plus favorable de 3 mois (septembre, octobre, novembre), dès la première année.

Pour la construction du duis, les travaux doivent être réalisés d'un seul tenant hors période de crue, sur 5 mois. La période retenue est donc de juillet à novembre. A noter qu'un temps de préparation de chantier de 2 mois environ sera nécessaire avant le début des travaux.

La réalisation par voie fluviale des travaux implique la création durant la phase préparatoire de chantier d'un poste permettant le chargement et le déchargement des chalands ainsi que de ducs d'albe provisoires permettant l'amarrage des navires lors des périodes non travaillées.

Les installations de chantier seront positionnées sur la parcelle du domaine public fluvial située en rive droite (surface 15 000 m² environ) pour implanter :

- La base vie de chantier ;
- Le parking véhicule du personnel ;
- Le stockage des matériaux d'approvisionnement et d'évacuation ;
- La création d'un quai de chargement pour permettre l'approvisionnement du chantier en matériaux.

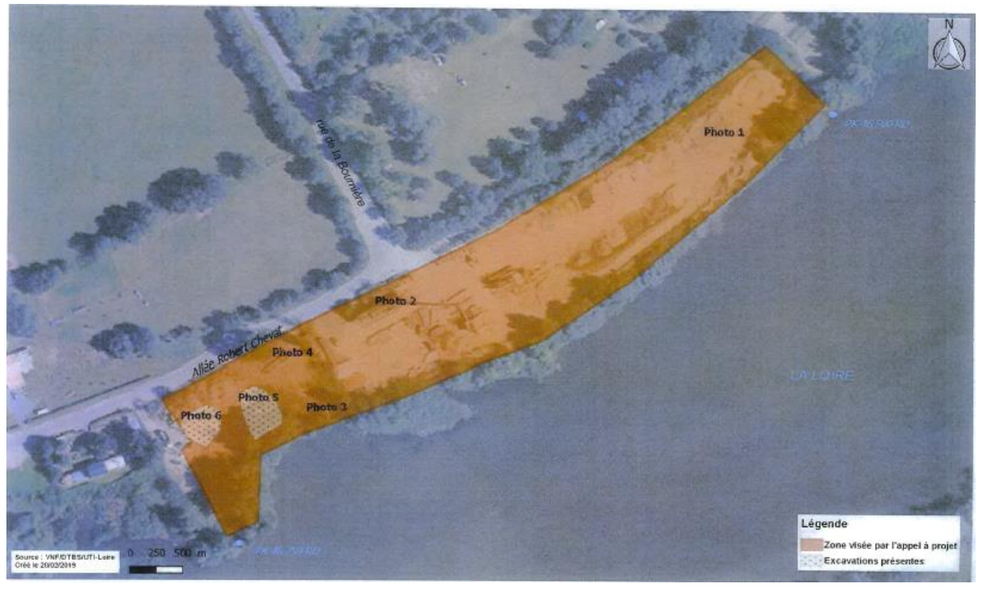


Figure 57 : Parcelles destinées à l'implantation de l'aire de stockage « tampon » à proximité de la zone de chargement

L'aménagement de la parcelle rive droite inclura la réalisation d'un chenal de navigation temporaire permettant d'assurer la liaison fluviale entre le quai et la zone de travaux avec un tirant d'eau suffisant pour permettre une plage de travail élargie. Ce chenal temporaire sera réalisé par modelage des bancs de sables et de la zone de chargement. L'objectif est d'assurer un tirant d'eau minimum de 2,50 m pour permettre l'accès au quai de chargement même en phase de marée basse.

Figure 58 : Chenal à modeler pour permettre la circulation des engins depuis le quai

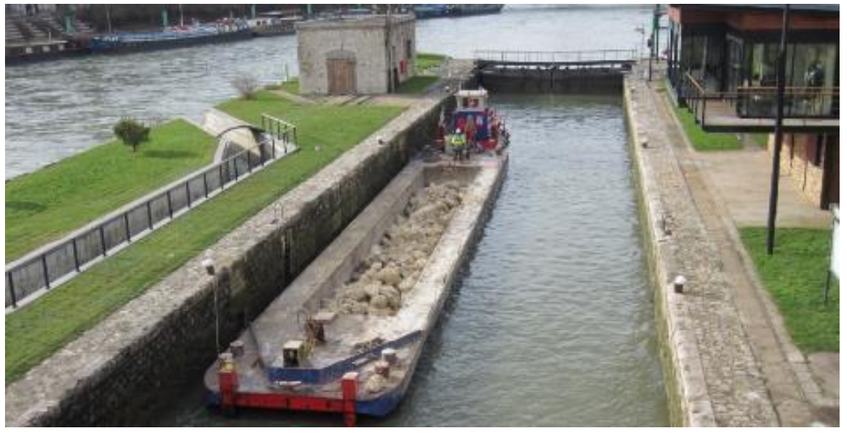


Figure 59 : Convoi en transfert - Ecluse de Saint-Maurice (94)

Phasage et cadences des travaux

Les cadences d'exécution seront imposées à la fois par les conditions hydrauliques de la Loire et les capacités de chargement des matériaux.

Concernant les conditions hydrauliques au stade de l'avant-projet, il a été considéré une durée de travail journalière de 4h centrée sur la marée haute qui permet de disposer des conditions hydrauliques les plus favorables avec un écoulement quasi-nul. Avant ou après cette période (en fonction de l'heure de la marée haute), le chargement de la barge sera réalisé au niveau du quai pour qu'elle soit opérationnelle lors de la période favorable.

Les travaux sur le secteur C, pour la construction du duis, seront réalisés uniquement à marée haute soit environ 4h par jour soit 2h avant et 2h après l'étale.

Afin d'optimiser les temps de travaux, il sera possible de :

- Faire appel à 2 ateliers en parallèle lorsque cela est possible avec la mise à disposition d'un second quai de chargement
- Réaliser des travaux de nuit pour profiter des deux étales de haute mer se produisant chaque jour

6.3.1.4 *Estimation des types, des quantités de résidus et des émissions attendues*

L'arasement des seuils dans le bras de Thouaré devrait générer 14 400 m^3 d'enrochements à évacuer. Ces matériaux pourront être partiellement réutilisés pour la réalisation de l'aménagement.

7. Moyens de surveillance, d'intervention en cas d'incident et d'accident, de maintenance

La surveillance des ouvrages fait partie intégrante de la gestion du cycle de vie. Cela concerne aussi bien les nouveaux ouvrages construits que les épis remodelés ou raccourcis.

Un programme de surveillance régulière des ouvrages et de son environnement permet d'évaluer l'état et la fonctionnalité de l'ouvrage. Il donne également la possibilité de planifier en temps voulu les activités de réparation et de remplacement et permet d'acquérir une bonne compréhension des mécanismes d'évolution des ouvrages.

Dans le cas présent, on distinguera les éléments suivants :

- Les mesures de suivi liées à la performance de l'ouvrage. Il s'agit des mesures de suivi de l'efficacité hydro-sédimentaire de l'ouvrage. Un programme de suivi englobant plus largement les thématiques du CLA (Contrat pour la Loire et ses Annexes) a été établi par le GIP Loire Estuaire. Il est présenté dans le livrable « synthèse des impacts et mesures »;
- Les mesures de surveillance et d'entretien lié à l'évolution dans le temps des ouvrages qui comportent :
  - Surveillance après évènement hydrologique particulier ;
  - Surveillance périodique ;
  - Entretien ;

7.1 Modalité de surveillance des ouvrages

La surveillance de l'état d'un ouvrage concerne l'état des matériaux constitutifs de l'ouvrage et de ses fondations ainsi que sa géométrie. La surveillance de cet état fournit les informations nécessaires pour procéder à une évaluation actualisée de l'intégrité de l'ouvrage, que ce soit sur une base régulière ou après des événements extrêmes, afin d'effectuer l'action de maintenance appropriée.

La complexité et la portée de la surveillance peuvent varier de manière significative. La surveillance de l'état de l'ouvrage implique toujours une **inspection visuelle** et, dans certains cas, inclut des **mesures *in situ* topographiques et bathymétriques** pour évaluer l'état actuel de l'ouvrage par rapport à l'état initial.

Il peut se produire des changements fréquents lors de la construction et au cours des premières années qui suivent l'achèvement du projet. Pendant cette période, il peut y avoir des ajustements dynamiques tels qu'un tassement de l'ouvrage, une imbrication des blocs d'enrochement ou des variations de bathymétrie. **La surveillance doit donc être renforcée les premières années**.

Après un ajustement initial de l'ouvrage, les modifications les plus significatives se produisent lors des évènements hydrologiques particuliers. Le plan de surveillance doit laisser suffisamment de flexibilité au calendrier pour tenir compte des irrégularités d'occurrence des évènements hydrologiques.

Les suivis diffèrent selon les ouvrages construits :

- **Surveillance visuelle** pour les travaux de protection de berges et rampes rugueuses dans le chenal nord du secteur C accompagnée d'une surveillance topographique. Cette surveillance concerne également la partie émergée des épis des secteurs A et B.
- **Surveillance bathymétrique** pour les ouvrages sous fluviaux que sont le duis et les épis.

Modalités de surveillance visuelle :

Il s'agit de procéder à des **inspections visuelles depuis un bateau**, à l'aide de photographies, pour enregistrer l'état général de l'ouvrage. Ces inspections incluent une observation des mouvements évidents des enrochements, des variations du profil etc.

La surveillance visuelle peut s'effectuer par **passage d'un drone/caméra** pour avoir un aperçu de l'ensemble de l'ouvrage et/ou en complément à une observation fréquente des agents de VNF par bateau.

Modalités de surveillance par mesures pour les ouvrages sous fluviaux :

Les ouvrages devront être surveillés par des mesures bathymétriques permettant de constater leur évolution. Cette surveillance sera très rapprochée au début de la vie de l'ouvrage (période de réajustement morphologique) puis plus étalée.

7.2 Programme de maintenance des ouvrages

Il existe deux types de maintenance préventive :

1. La maintenance selon l'état de l'ouvrage : il s'agit d'une réhabilitation basée sur l'état observé de l'ouvrage, en lien avec d'éventuels évènements climatiques ;
2. La maintenance périodique : il s'agit d'une réhabilitation qui fait suite à une période prescrite ou au dépassement d'un certain niveau de sollicitations.

Le plan de gestion d'un ouvrage doit inclure les éléments essentiels ci-dessous (Vrijling et al., 1995) :

- Inspection périodique de l'ouvrage et surveillance des conditions environnementales et de la réponse de l'ouvrage ;
- Analyse des données d'inspection et de surveillance pour évaluer l'état physique de l'ouvrage (y compris sa détérioration) et ses performances par rapport à la fois au cahier des charges de conception et à des standards prédéterminés tels que le niveau de service et la durée de vie prévue. Ces standards peuvent varier au cours de la vie de l'ouvrage, par exemple à cause :
  - des évolutions du niveau d'eau, du climat de la houle, de l'écoulement fluvial,
  - d'une réponse inattendue de l'ouvrage,
  - de développements économiques,
  - d'un changement imprévu des fonctions assignées à l'ouvrage,
  - d'un changement dans les critères utilisés pour définir le niveau de maintenance acceptable,
  - d'une optimisation économique des coûts sociaux (coûts de la rupture et/ou coûts induits par le dommage) et du coût supporté par le propriétaire ou le gestionnaire des infrastructures (coûts d'investissement, de gestion, de maintenance et de surveillance) ;

Les réponses possibles sont :

- ne rien faire (aucun problème identifié ou problèmes mineurs) et poursuivre l'observation,
- réhabiliter tout ou une partie de l'ouvrage,
- réparer tout ou une partie de l'ouvrage,
- réparer ou remplacer les composants d'un ouvrage dont la durée de vie est estimée inférieure à celle de l'ouvrage dans son ensemble ou réparer une zone déterminée qui n'a pas passé l'évaluation.

8. Mise en œuvre du programme

8.1 Financement

La mise en œuvre du programme de rééquilibrage du lit de la Loire, objet du présent dossier, a été estimée à 42 millions d'euros en valeur 2015 (études et travaux) au moment de la signature du contrat pour la Loire et ses annexes. Ce montant, rapporté en euros valeur 2020 correspond à environ 46,1 millions d'euros.

Suite aux études, l'estimation des travaux projetés s'élève à ce jour, en euros 2020, à 38,8 millions d'euros. Le montant des études et procédures est estimé, en euros 2020, à 6,2 millions d'euros, pour un total du programme de **45 millions d'euros**.

Les financeurs du programme sont :

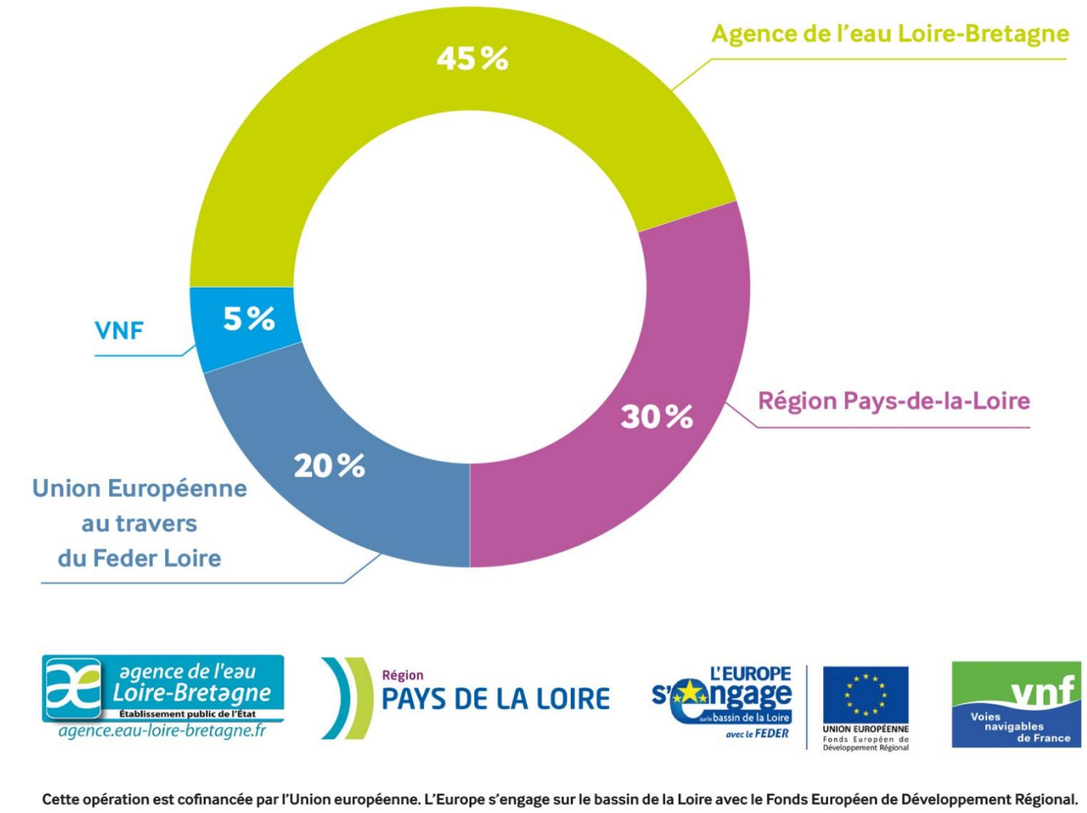


Figure 60 : Financeurs du programme (source VNF)

8.2 Calendrier prévisionnel

Suite à la concertation sur le programme de rééquilibrage du lit de la Loire du premier semestre 2018, les études d'avant-projet ont été poursuivies afin de pouvoir présenter la configuration définitive du projet au public au cours de l'enquête publique prévue fin 2020, avant toute autorisation administrative.

Une fois ces procédures terminées, les travaux pourront commencer dès 2021 pour le secteur A (Ingrandes-Le Fresne sur Loire / Montjean-sur-Loire) pour 1 à 2 étiages consécutifs, puis en 2022 sur le secteur B (Oudon-Anetz) pour 2 à 3 étiages consécutifs, selon la durée des étiages (sous réserve de l'obtention des autorisations administratives).

En effet, les travaux de remodelage des épis ne pourront être menés que lorsque les niveaux d'eau sont bas et en dehors des périodes de reproduction des espèces à enjeux, soit de mi-août à mi-novembre environ.

À Bellevue, secteur C, les travaux démarreront en 2023 pour 2 à 3 ans selon la durée des étiages.

En fonction des études à venir, ce calendrier pourra être échelonné, pour des raisons techniques et/ou financières.

8.3 Suivi des études et validation des choix techniques

Le suivi et la validation des études pilotées par VNF s'opèrent dans un cadre structuré, lié à la gouvernance du Contrat pour la Loire et ses Annexes.

Dans ce cadre, des réunions mensuelles de suivi des études sont organisées, avec les principaux acteurs du programme.

À chaque étape décisive, les études sont présentées au Comité technique qui valide les conclusions et les orientations proposées.

Un comité scientifique, créé spécialement pour cette opération, intervient en parallèle sur les sujets les plus pointus. Ces choix sont ensuite entérinés par le Comité de pilotage.

ANNEXE 1 – PRESENTATION DU CONTRAT POUR LA LOIRE ET SES ANNEXES (CLA)

Présentation des projets de restauration des annexes fluviales inscrites au Contrat pour la Loire et ses annexes de Montsoreau à Nantes sur la période 2018-2020

Données fournies par le Conservatoire d'espaces naturels des Pays-de-la-Loire.

Ile aux Chevaux et île Courgain en aval des Ponts-de-Cé

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 89

2. DEFINITIONS ET PRINCIPES GENERAUX 89

2.1 LES BRAS SECONDAIRES 90
2.2 LES BOIRES OU BRAS MORTS 90

3. OBJECTIFS ET DEFINITION DES PROJETS SUR LES ANNEXES FLUVIALES INTEGRES AU CLA 91

4. PRESENTATION DES ANNEXES INSCRITES AU CLA 99

BOIRE DE BENACLE- PARNAY, BOIRE DE DAMPIERRE, BOIRE DU CHAPEAU 99
PROJET : BOIRE DE GENNES 100
PROJET : BOIRE DU RATEAU 100
PROJET : BOIRE DE GOHIER OU PETITE LOIRE 101
PROJET : LOUET ET BOIS ROND / LES BRAS DU TREBUSSON ET DU HARDRAS (SECTEUR DE REMODELAGE DU LIT PRINCIPAL EN 2010) 102
PROJET : ZONE HUMIDE DU BOSQUET (SECTEUR DE REMODELAGE DU LIT PRINCIPAL EN 2010) 103
PROJET : GRAND ET PETIT CANAL DE SAVENNIERES (SECTEUR DE REMODELAGE DU LIT PRINCIPAL EN 2010) 103
PROJET : BOIRE DE CHAMPTOCE (EN LIEN AVEC LE SECTEUR A DU LIT PRINCIPAL) 104
PROJET : BOIRE TORSE (EN LIEN AVEC LE SECTEUR B DU LIT PRINCIPAL) 106
PROJET : BRAS DES BABINS (EN LIEN AVEC LE SECTEUR B DU LIT PRINCIPAL) 106
PROJET : BRAS DU BERNARDEAU ET DU CHALAIS, BOIRE ROUSSE (EN LIEN AVEC LE SECTEUR B DU LIT PRINCIPAL) 107
PROJET : BRAS DES VINETTES OU BRAS DE « L'ILE AUX MOINES » (EN LIEN AVEC LE SECTEUR B DU LIT PRINCIPAL) 108
PROJET : BRAS DE L'ILE DELAGE (EN LIEN AVEC LE SECTEUR B DU LIT PRINCIPAL) 109
PROJET : BRAS DES BREVETS (EN LIEN AVEC LE SECTEUR B DU LIT PRINCIPAL) 110
PROJET : BRAS DE LA PIERRE DE DRAIN (EN LIEN AVEC LE SECTEUR B DU LIT PRINCIPAL) 111
PROJET : BOIRES DE DRAIN (EN LIEN AVEC LE SECTEUR B DU LIT PRINCIPAL) 112
PROJET : BOIRE DE LA PATACHE ET ZONE HUMIDE DE LA GRANDE PREE (EN LIEN AVEC LE SECTEUR B DU LIT PRINCIPAL) 113
PROJET : BOIRES DE LA VARENNE (BOIRE CHAPOIN, BOIRE D'ANJOU, BOIRE SAINT-NICOLAS) 113
PROJET : BOIRE DU CELLIER 114
PROJET : BOIRE DE MAUVES (EN LIEN AVEC LE SECTEUR C DU LIT PRINCIPAL) 115
PROJET : BRAS DE L'ILE CLEMENTINE (EN LIEN AVEC LE SECTEUR C DU LIT PRINCIPAL) 116
PROJET : BOIRE DE BEAULIEU 116

5. METHODE D'EVALUATION GLOBALE DES ACTIONS DE RESTAURATION 117

6. CALENDRIER PREVISIONNEL ET REALISATIONS DES ACTIONS DE RESTAURATION DU CLA 117

1. Introduction

A la fin du 19e siècle, l'ambition est apparue de transformer la Loire en une grande voie navigable entre la façade atlantique et l'intérieur des terres. Les conditions de navigation n'étant pas bonnes (bancs de sable, chenal mouvant, irrégularité des fonds, etc), d'importants aménagements ont été jugés nécessaires pour permettre la création d'un chenal de navigation profond et régulier, assurant le passage d'embarcations avec un plus grand tirant d'eau tout au long de l'année. Plusieurs actions ont été menées dans ce sens au cours des 19e et 20e siècles (mise en place d'épis, duis et chevrettes, création d'un bassin à marée, extraction massive de sable, renforcement des levées de protection contre les inondations, etc), modifiant profondément la Loire entre les Ponts-de-Cé et Nantes. Des déséquilibres ont, dès lors, été observés sur l'ensemble de l'hydrosystème : une forte incision du fond du lit et un abaissement concomitant des niveaux d'eau ont été observés, l'espace de mobilité du fleuve et sa dynamique ont été réduits, l'équilibre des annexes fluviales a été particulièrement perturbé.

Les annexes fluviales (ou annexes hydrauliques) constituent des milieux aquatiques et zones humides situées à proximité de la Loire. Elles peuvent prendre plusieurs formes : marais, prairies inondables, boires, bras secondaires, etc. De par le processus d'incision, le niveau du lit principal de la Loire est aujourd'hui anormalement bas par rapport à celui des bras secondaires et autres annexes fluviales. Ces milieux se trouvent submergés moins longtemps et asséchés sur des périodes plus longues que par le passé. Certaines annexes ne sont en eau que lors des crues. **C'est ce qu'on appelle le déséquilibre latéral de la Loire, entre le bras principal et les annexes fluviales.**

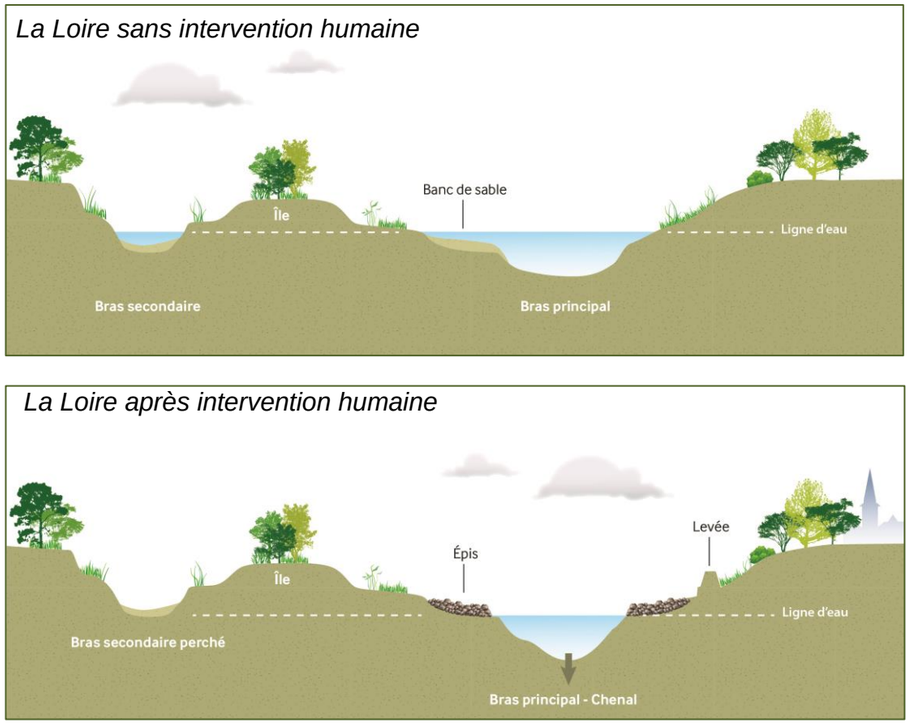


Figure 61 : Schémas du déséquilibre longitudinal et du déséquilibre latéral de la Loire avant et après l'intervention humaine

Afin de pallier à ces déséquilibres, des actions de restauration du bras principal et des annexes ont été réfléchies et inscrites au sein du Contrat pour la Loire et ses annexes (CLA). Issu de la stratégie pour la Loire définie par le Groupement d'intérêt public (GIP) Loire-Estuaire et le bilan du Contrat Restauration Entretien (CRE) de la Loire estuarienne amont de Nantes à Montsoreau 2009-2014, le CLA est le document cadre pour la mise en œuvre du programme de rééquilibrage du lit de la Loire et des actions de restauration complémentaires sur les annexes fluviales pré-identifiées. Signé en 2015 par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, la Région Pays-de-la-Loire, l'État, le Conservatoire d'espaces naturels (CEN) des Pays de la Loire, le GIP Loire-Estuaire et l'ensemble des maîtres d'ouvrage d'actions (Voies navigables de France, les Fédérations de pêche et de protection des milieux atlantique (FDPPMA) de Loire-Atlantique et du Maine-et-Loire, les collectivités locales riveraines de la Loire). Le CLA a pour ambition de partager une stratégie commune, de coordonner les actions sur la Loire et ses annexes et de mieux suivre les effets des aménagements. Ainsi, le groupement des projets au sein d'un même contrat permet de mutualiser les efforts et d'augmenter la cohérence et l'efficacité des actions. Une première enveloppe budgétaire a été allouée à des études et des projets de restauration d'annexes fluviales pour la période 2015-2017. Un bilan intermédiaire a été réalisé. Ensuite une nouvelle programmation a été établie pour la période 2018-2020 (25 annexes fluviales inscrites).

Le conservatoire des espaces naturels des Pays de la Loire est chargé d'animer et coordonner les maitres d'ouvrage des projets de restauration des annexes fluxiales.

Ce document présente dans un premier temps les annexes fluviales de manière globale ainsi que les déséquilibres qui les affectent. Dans un second temps les grands objectifs de restauration sont présentés puis, la situation de chacune des annexes fluviales inscrites au CLA sur la période 2018-2020, les déséquilibres rencontrés et les projets visés pour leur restauration sont détaillés.

2. Définitions et principes généraux

Les annexes fluviales sont des milieux remarquables tant par la diversité et la valeur patrimoniale des espèces et habitats dont elles sont le support, que par leur rôle fonctionnel intrinsèque dans la dynamique du fleuve. Elles ont notamment une fonction d'écrêtement des crues, une fonction de « réservoir » de biodiversité et d'habitats favorables à la reproduction, à l'alimentation ou au refuge et une fonction de régulation des nutriments (filtre épurateur physique et chimique). Toutefois, de nombreuses menaces et pressions pèsent aussi sur ces milieux telles que la destruction directe (remblaiement…), la diminution de la dynamique fluviale et de l'alimentation en eau (sédimentation, colmatage des fonds, ensablement…), les pollutions, l'artificialisation, les ruptures de continuité par des obstacles… Aujourd'hui, leur évolution naturelle est contrainte du fait des modifications du lit principal de la Loire et du développement des activités humaines.

Les 127 annexes hydrauliques recensées sur le secteur Montsoreau – Nantes se distinguent et se répartissent en plusieurs types : 92 annexes fluviales, 4 marais mouillés, 19 prairies inondables d'importance et 12 annexes artificielles. Les annexes fluviales sont soit des bras secondaires (48), soit des bras morts aussi appelés boires (44) (Matrat, 2007).

La figure ci-après illustre la distinction entre une annexe perchée appelée « boire » et un « bras secondaire ».

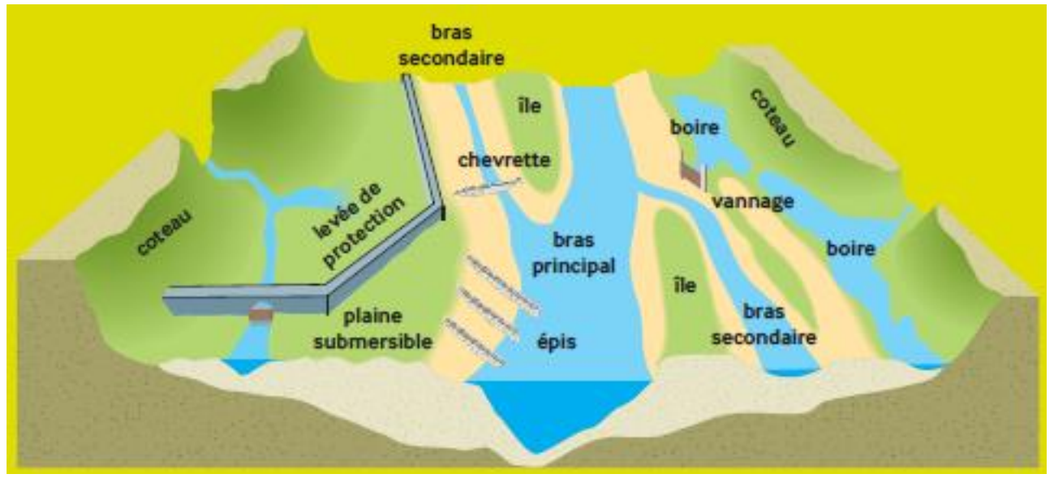


Figure 62 : Annexes fluviales de la Loire (source GIP LOIRE ESTUAIRE)

2.1 Les bras secondaires

Les bras secondaires sont connectés au chenal principal par l'amont et l'aval et restent en eau une grande partie voire toute l'année. Ils sont dynamiques au niveau hydromorphologique et sont des éléments majeurs de l'espace de mobilité, de liberté du fleuve. La richesse biologique de ces bras est liée à la dynamique naturelle fluviale tant au niveau des habitats que des espèces. Leurs fonctions biologiques ne sont pas négligeables, avec une production primaire supérieure au chenal principal.

Leur profondeur et la vitesse des courants sont plus faibles que dans le chenal principal, ce qui en fait des zones refuge importantes, des couloirs privilégiés pour certains migrateurs et des sites d'accueil pour les espèces aquatiques.

Ils remplissent aussi une fonction d'écoulement et d'expansion des crues.

<u>Déséquilibres et menaces sur le fonctionnement des bras secondaires</u>

Les déséquilibres et menaces sur la richesse des bras secondaires sont liés principalement à tous les éléments bloquant leur dynamique naturelle tels que les ouvrages les séparant du chenal principal (épis, chevrettes), les enrochements présents en berges (60% des berges aménagées/enrochées sur la Loire et ses principaux bras en Pays de la Loire) et la présence d'ouvrages souvent sans fondement légal, érigés au fil du temps, permettant l'accès aux îles en période de basses eaux.

L'ensemble de ces aménagements bloquant la continuité sédimentaire et hydroécologique au sein des bras une partie de l'année impacte la qualité de l'eau et des milieux mais aussi la capacité d'accueil de certaines espèces attachées à la dynamique fluviale naturelle telles que les Odonates de Loire (*Gomphus flavipes* et *Ophiogomphus cecilia*), le Castor d'Eurasie (*Castor fiber*) ou encore les poissons dont les migrateurs.

Moins dynamique, les milieux se ferment, s'homogénéisent et peuvent se banaliser. Les habitats s'y installant sont souvent en mauvais état de conservation, en concurrence avec des espèces exotiques envahissantes (Paspale à deux épis, Jussie, etc), et font l'objet de campagnes d'entretien motivées par des enjeux paysagers, la pression des riverains et l'enjeu de maintien de la capacité d'écoulement des crues.

Certaines pratiques inadaptées sont aussi constatées dans plusieurs bras telles que l'extraction non autorisée de sable, les rejets ou les pompages par exemple.

Les atteintes à la dynamique naturelle des bras peuvent s'illustrer comme suit.

Figure 63 : Exemple d'ouvrage transversal dans un bras (gauche) et développement de la Jussie (droite) (source CEN)

2.2 Les boires ou bras morts

Les boires sont d'anciens bras secondaires qui, en dehors des périodes de hautes eaux, ne sont connectées au lit principal que par l'aval. Ces bras sont complètement déconnectés du lit principal aux débits d'étiage mais certains bénéficient d'une connexion via la nappe alluviale.

Ils sont le support de milieux diversifiés dont le caractère humide est lié à l'hydrologie de la Loire, à sa nappe et bien souvent à des apports d'eau venant de bassin versants. La figure suivante illustre la diversité d'habitats au sein d'une boire.

Figure 64 : Schéma d'une boire aux habitats diversifiés, déconnectée du lit principal pour des débits d'étiage avec des habitats boisements alluviaux à l'amont, des berges vaseuses, de la mégaphobiaie et des milieux prairiaux. (source CEN)

1 : berge érodée
2 : habitats aquatiques, habitats pionniers, berges vaseuses…
3 : mégaphorbiaie
4 : boisements alluviaux
5 : prairies
6 : habitats aquatiques, vasque en eau connectée ou non à la nappe alluviale
7 : bois mort

Déséquilibres et menaces sur le fonctionnement des boires

Si la trajectoire écologique des annexes induit naturellement une fermeture des milieux donnant lieu à l'expression d'une richesse spécifique, les déséquilibres et menaces identifiés pour ces milieux correspondent à une accélération anormale des évolutions naturelles en lien avec des facteurs anthropiques. La déconnexion des boires avec le lit principal peut être réduite et la continuité au sein de l'annexe et entre l'annexe et les zones humides adjacentes est souvent contrainte par la présence d'ouvrages, de chemins ou de bourrelets. Les milieux perdent alors leur caractère aquatique, se banalisent et deviennent plus sensibles vis-à-vis des espèces exotiques envahissantes (Jussies, Renouées asiatiques…).

La présence de peupliers de culture ou d'hybrides en berge ou dans les zones humides riveraines de la boire en lieu et place de mégaphorbiaie, prairies humides ou boisements alluviaux appauvrit la diversité des milieux, la capacité d'accueil de certaines espèces et nuit notamment à la fonctionnalité frayère/reproduction du Brochet.

Tout comme certains bras, les boires sont aussi impactées par des aménagements, des pratiques d'entretien trop lourdes, des curages, des remblais, dépôts sauvages, prélèvements de sable, rejets divers, le piétinement par le bétail…

Ces déséquilibres nuisent au maintien de milieux diversifiés et riches et impactent les fonctionnalités écologiques qui leur sont liées.

3. Objectifs et définition des projets sur les annexes fluviales intégrés au CLA

En cohérence avec les actions de rééquilibrage du lit principal, les projets de restauration des annexes fluviales visent à pallier aux déséquilibres du fleuve en permettant à la dynamique fluviale naturelle de conserver la diversité des espèces et habitats et les fonctionnalités écologiques des annexes. Agir pour la préservation de ces milieux nécessite d'adapter objectifs et moyens mis en œuvre à chaque cas, tout en veillant à maintenir une diversité à l'échelle du bassin et en gardant à l'esprit que l'hydrosystème de la Loire est un tout.

Ainsi, les projets sont définis compte tenu de la richesse existante au sein de l'annexe fluviale et de son potentiel, en prenant en considération la connexion actuelle avec le chenal principal de la Loire. Les restaurations concernent une optimisation des fonctionnalités, l'amélioration de l'état de conservation des milieux et aucunement une modification du stade évolutif de l'annexe.

Les enjeux et objectifs généraux des projets de restauration sont les suivants :

- Maintenir les différents stades évolutifs des annexes ;
- Maintenir une mosaïque d'habitats et la grande diversité d'espèces ;
- Maintenir une diversité de fonctionnalités au sein des annexes ;
- Maintenir le caractère aquatique/humide des boires ou bras mort ;
- Maintenir le caractère dynamique des bras secondaires actifs ;
- Améliorer l'espace de mobilité de la Loire au niveau des annexes hydrauliques.

Le Contrat pour la Loire et ses annexes comprend plusieurs projets de restauration d'annexes. Ce volet « annexes fluviales » a été construit selon les 3 principes suivants :

- Suivre, compléter & pérenniser les opérations et résultats obtenus lors des restaurations menées précédemment dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature et le CRE Loire estuarienne amont ;
- Développer les projets jugés prioritaires puisqu'en lien avec les secteurs de rééquilibrage du lit principal de la Loire, définis selon la stratégie globale de 2014 (GIP Loire Estuaire) ;
- Envisager des projets à enjeux biodiversité.

Après examen de 39 projets, 25 ont été retenus pour la période 2018-2020. Ces 25 projets correspondent en fait à 33 annexes fluviales, certains projets regroupant plusieurs annexes (ex : le projet à La Varenne comprend les boires Chapoin, Anjou, le suivi du bras de Saint-Nicolas et de la boire de la Bridonnière).

Le programme sur les annexes a été travaillé en comité technique et validé le 2 février 2018 par le comité de pilotage du contrat. Chaque projet est précisé selon les résultats des diagnostics avant travaux et en respect de la démarche préalablement actée dans le dossier chapeau (annexe au CLA). Pour chaque projet, un groupe de travail local, associant la DDT ou la DDTM, l'OFB, les FDAAPPMA, La LPO, le GMB, les associations locales, accompagne le maître d'ouvrage tant au niveau de la définition du projet que pour sa mise en œuvre et son suivi. La concertation locale est organisée pour informer, partager et assurer la bonne réussite du projet. Le CEN assiste chaque maître d'ouvrage tout au long du projet via du conseil, de l'animation et des suivis.

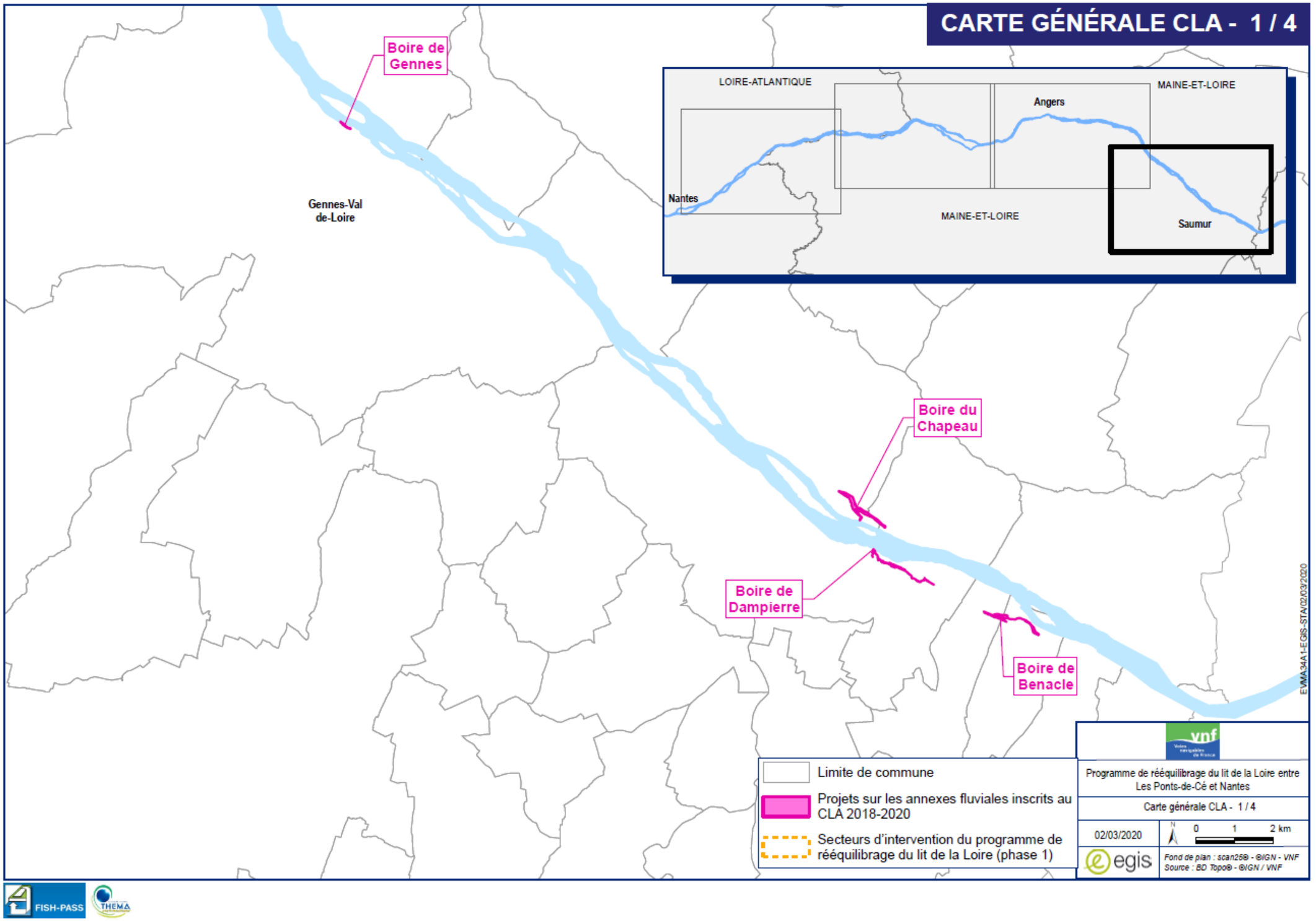
La procédure règlementaire est menée selon la logique ERC (Eviter, Réduire, Compenser) afin de limiter au maximum les impacts directs et indirects. La démarche engagée visant la restauration et la préservation des milieux, le principe d'évitement est appliqué et il n'est nullement envisagé de destruction. En cas de présence d'espèces et/ou d'habitats protégés à proximité de travaux, ces derniers sont balisés pour leur préservation, sachant que la conservation voire l'amélioration de leurs habitats constituent un objectif des projets.

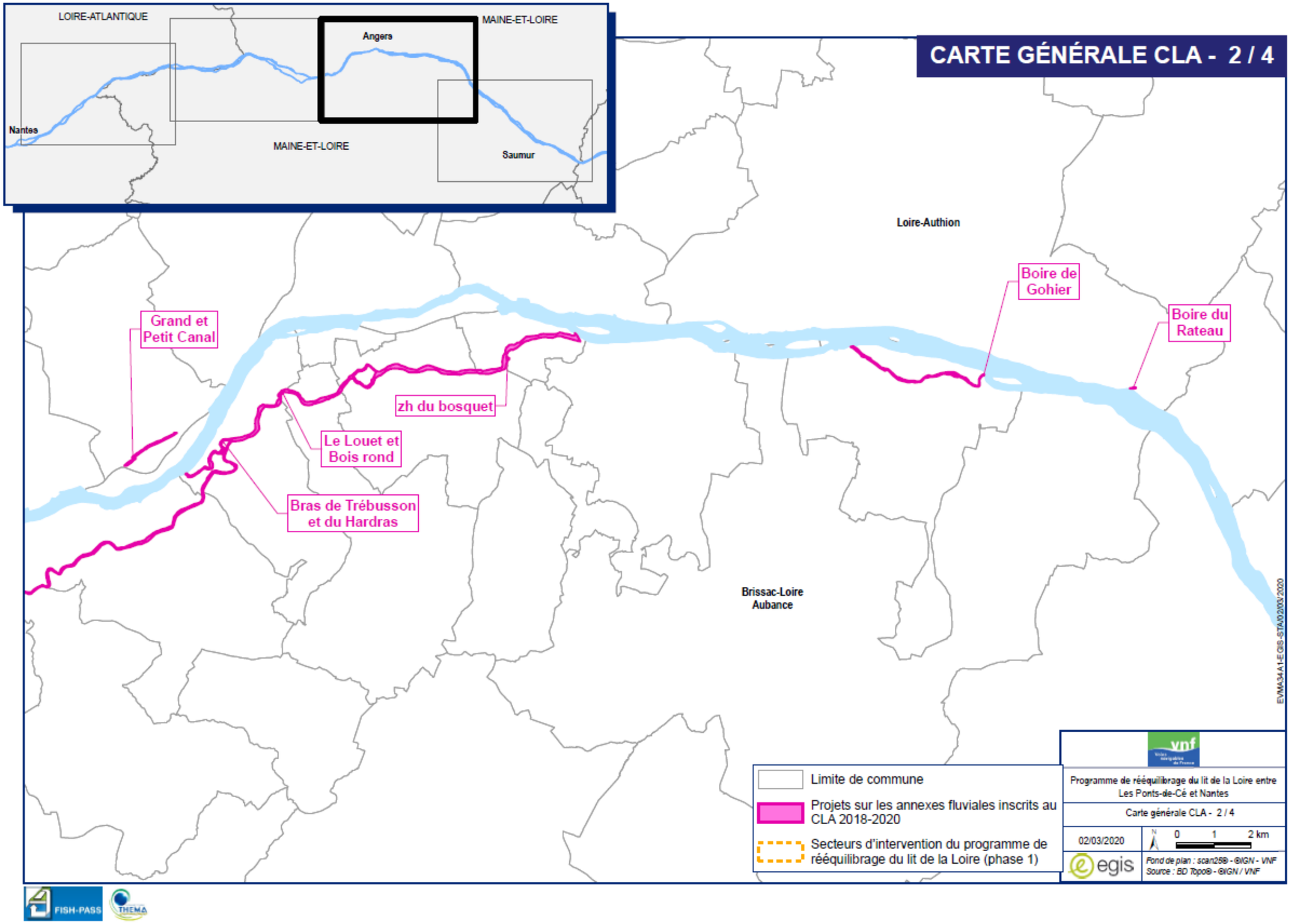
La liste des 25 projets de restauration initialement inscrits au contrat pour la période 2018-2020 et les enjeux pressentis pour chacun sont présentés de manière synthétique dans le tableau suivant. Les cartes de localisation sont à la suite.

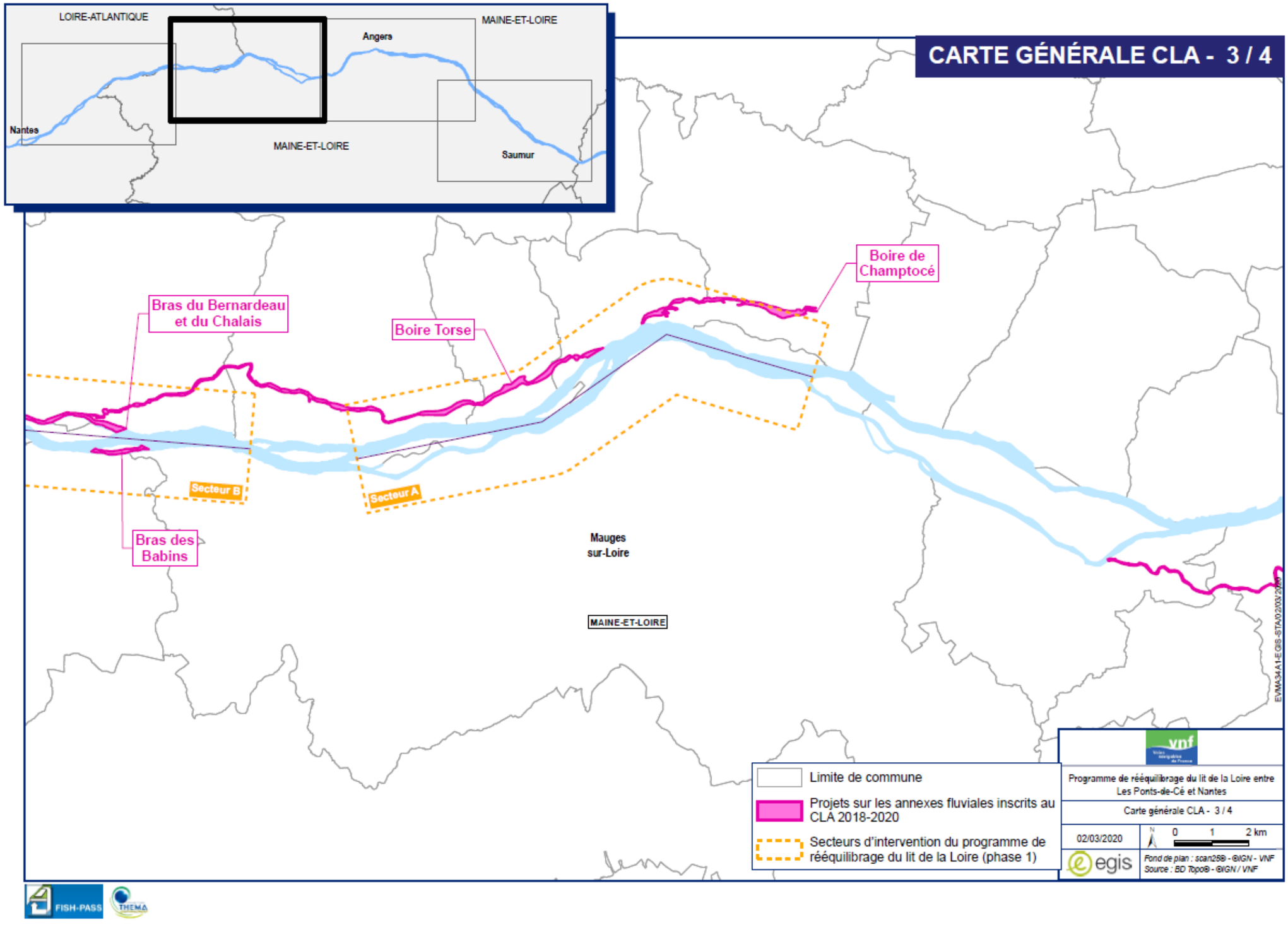
NOM du projet	Enjeux habitats/espèces pressentis			Enjeux hydromorphologie/continuité/ dynamique fluviale	Enjeux connexion	Lien prog lit principal
	Habitats naturels – Habitats IC	Espèces à enjeux	Enjeux de restauration/conservation - Habitats/espèces			
Boires de Bénacle / Parnay	habitat d'eau douce, boisement alluvial, berges vaseuses, mégaphorbiaies, roselière…	Castor, Amphibiens, Odonates, Oiseaux, Brochet, Crapaud calamite (bras de Souzay)	reconversion peupleraies, prairies maigres de fauche, qualité du boisement alluvial, EEE/risques Plusieurs postes de pêche en bordure de la boire (rive droite) limitant l'expression de végétations de type mégaphorbiaies. Jardinage domestique dans la boire (à mi-hauteur de berge, rive gauche). Boisement mixte / prairie de fauche limités en rive droite par entretien d'un espace de loisir (tables pique-nique). Décharge sauvage.	continuité entre les ZH	non	
Boire de Dampierre	boisement alluvial, prairie humide - mégaphorbiaie		Conservation du caractère humide de la zone. Limiter la banalisation des habitats (moindre résilience aux périodes sèches)	continuité entre les ZH. Un chemin déconnectant.	faible	
Boire du Chapeau	habitat d'eau douce, boisement alluvial, berges vaseuses, mégaphorbiaies, magnocariçaie… => diversité des habitats	Castor, Amphibiens, Odonates, Oiseaux, Brochet, Pulicaire vulgaire	qualité des boisements (vs. cultivars de peuplier, érable négundo….), gestion de la Jussie, sensibilisation du propriétaire (ville de Saumur) et de l'exploitant en lien (surpâturage sur prairie hygrophile)	ouvrages déconnectants, un atterrissement d'origine anthropique - continuité	oui	
Boire de Gennes	habitat d'eau douce, mégaphorbiaie, végétations pionnières, lac eutrophe	Brochet, Inule britannica	à déterminer	non	à vérifier	
Boires du Rateau	habitat d'eau douce, mégaphobiaie (*Filipensulo ulmaria - Convolvuletea sepium*), boisement alluvial	Amphibiens, Pulicaire vulgaire, Brochet, Bouvière	contrôle EEE, zone frayère	non	non - suivis	
Petite Loire / boire de Gohier	habitat d'eau douce, boisement alluvial, berges exondées, mégaphorbiaies, prairies maigres de fauche	Peuplier noir, présence du Castor (traces fraîches), Amphibiens, Oiseaux, Odonates, Arachnides, Castor	préservation, reconquête des habitats à enjeux, peupleraie à l'amont, EEE (Erable negundo, Elodée de Nutall, Jussie)	Hydromorpho/dynamique fluviale : un seuil transversal de 13 buses & continuité avec la boire des Buttes en cours d'évaluation.	Un aménagement d'accostage pour les bateaux au centre de la connexion amont. – en cours d'évaluation	
Louet & Bois rond	habitats / flore typiques des bras actifs	Castor, Odonates, Bouvière, Brochet…	Etat de conservation des boisements de rives, préservation des habitats et espèces, diversification/nombreuses berges enrochées Cabanisation en développement	Hydromorpho/dynamique fluviale : morphologie des berges suivis en cours	non	Secteur expérimental de remodelage 2010

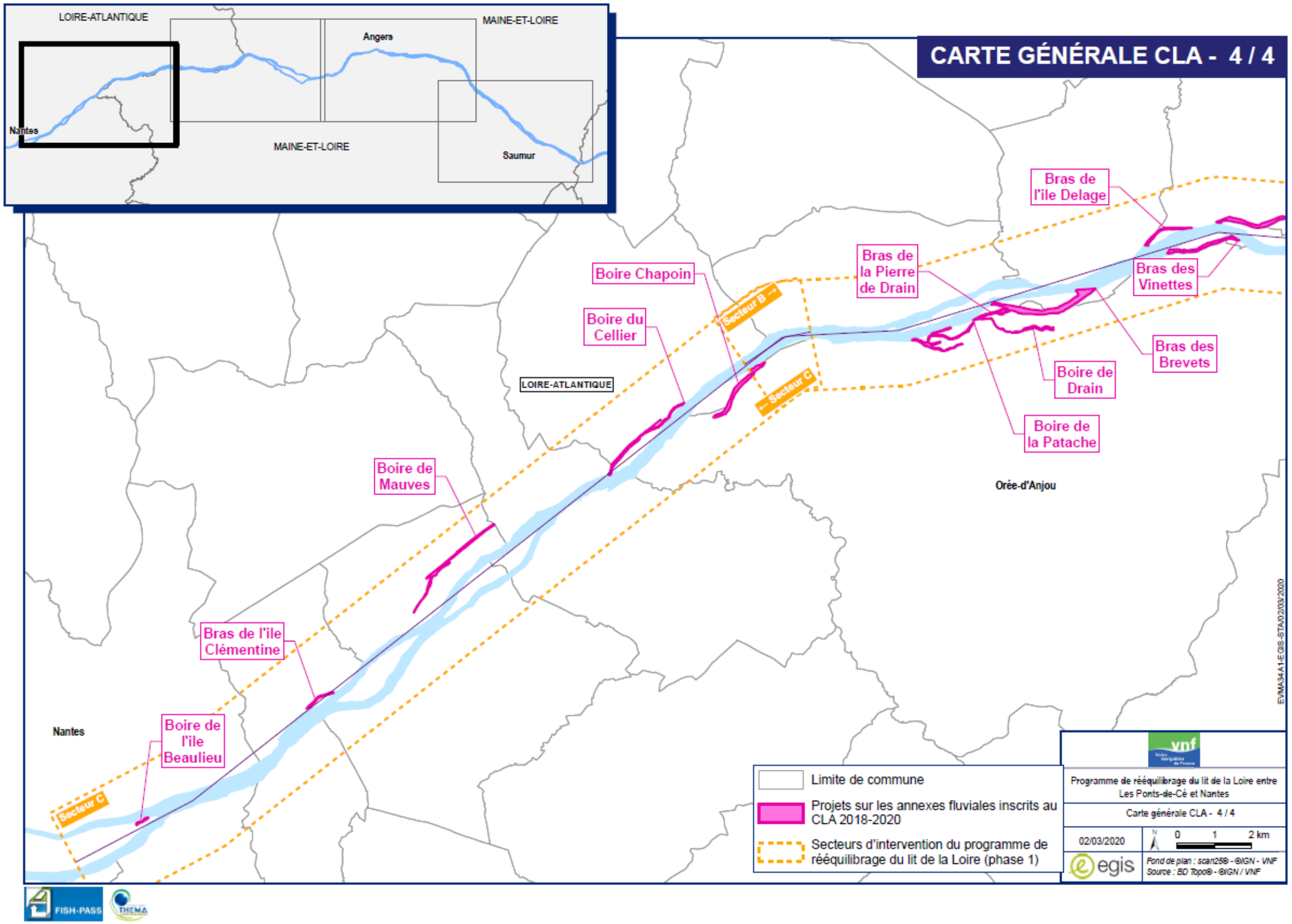
Bras du Trébusson et du Hardas	habitat d'eau douce, boisements de rive, grèves, berges érodées…	Castor, Hirondelle des rivages, Saproxylophages (Grand capricorne)	reconquête habitats pour les Gomphes, diversification d'habitats (état des berges)	Hydromorpho/dynamique fluviale : 3 ouvrages, épis impact à évaluer, berges enrochées et abruptes	à évaluer	
ZH du Louet-le bosquet	Zone humide, EEE	Brochet, flore, …Erable négundo, cultivars de peuplier, Jussie	restauration frayère, EEE	continuité	à préciser	
Grand et Petit Canal de Savennières	habitat d'eau douce, mégaphorbiaies, berges vaseuses, phalaridaie	Pulicaire vulgaire, / EEE (Jussie, Amorpha fruticosa)	contrôle des EEE à réestimer, conservation des espèces et habitats	non	En cours de suivis	
Boire de Champtocé	habitat d'eau douce, mégaphorbiaie, berges vaseuses	Brochet, Anguille, Bouvière, Triton palmé, Oiseaux, Pulicaire vulgaire, Inule britannique, *Galium debile*, Gratiole officinale… Jussie	restauration et développement des boisements (qualité de l'eau), préservation des habitats et espèces, suivi de la Jussie/libre expression de la végétation des berges (ombrage)	continuité entre ZH morphologie des berges	non	Secteur A
Boire Torse	habitat d'eau douce, mégaphorbiaies, boisement alluvial, berges vaseuses	Pulicaire vulgaire, Inule britannique, Marsilée à quatre feuilles, Brochet, Pelodyte ponctué, Triton palmé, Castor	préservation de la mégaphobiaie et des espèces protégées, entretien zone fonctionnelles pour le frai du brochet, qualité des boisements, sensibilisation extractions/dépôts et EEE, peupleraie jusque dans la boire	continuité : ouvrages busés à préciser	non	
Bras des Babins	habitat d'eau douce, mégaphorbiaies, boisement alluvial, berges vaseuses	*à évaluer*	restauration des boisements et préservation des habitats et espèces (reconquête habitats gomphes…) diversité des habitats de berge à conserver(berges naturelles)	Hydromorpho/dynamique fluviale : un seuil transversal & épis	en cours d'évaluation	
Bras du Bernardeau / Chalais - Boire Rousse	habitat d'eau douce, berges vaseuses, boisement alluvial	Pulicaire vulgaire, Odonates, Castor, ancienne donnée de Scirpe triquètre…	restauration des boisements et préservation des habitats et espèces (reconquête habitats Castor, gomphes…)	Hydromorpho/dynamique fluviale : un seuil transversal & épis, développement de la végétation au sein du lit mineur car dynamique fluviale perturbée	oui	Secteur B
Bras des Vinettes «l'île aux Moines»	habitat d'eau douce, berges vaseuses, boisement alluvial, grèves exondées, mégaphorbiaies, berges érodées	Guêpier d'Europe, Hirondelle des rivages, Peuplier noir, Pulicaire vulgaire	restauration des boisements (peupleraie exploitée) et de la ripisylve (linéaire étroit, faible diversité en rive droite) et préservation des habitats et espèces (reconquête habitats Castor, gomphes, diversification des habitats, notamment ceux de transition : mégaphorbiaies, saulaies blanches…), renaturation des berges (notamment aval rive droite : Peupliers cultivar + enrochements)… limitation de la pression anthropique (parcelles cabanisées à l'aval).	Hydromorpho/dynamique fluviale : un seuil transversal & épis Enjeu évolution morphologie naturelle des berges Berges largement enrochées et levée en rive gauche	oui	
Bras de l'île Delage	habitat d'eau douce, berges vaseuses, mégaphorbiaies	Gomphe serpentin	qualité des milieux (lien marais de Gré) et de l'eau (rejets station eau potable, ZA), « gravats » autour du gué, état du site (plusieurs déchets retrouvés dans le bras), EEE	Suivis de la dynamique du bras – reste d'anciens seuils.	à évaluer	
Bras des Brevets	habitat d'eau douce, berges exondées boisement alluvial, mégaphorbiaies	Castor, Criquet des Roseaux	restauration des boisements et préservation des habitats et espèces (reconquête habitats Castor, gomphes…), en	Epis, situation des gués à confirmer	oui	

			faveur de la diversification des habitats (notamment spatialement)			
Bras de la Pierre de Drain	habitat d'eau douce, berges vaseuses, boisement alluvial,	Peupliers noirs, *Gomphus flavipes* (donnée 2009)	restauration des boisements et préservation des habitats et espèces, limiter la pression du pâturage (contraignant l'expression de certaines communautés végétales), présence de Jussie	Hydromorpho/dynamique fluviale : un ouvrage transversal à l'aval	non	
Boires de Drain	habitat d'eau douce, berges vaseuses, mégaphorbiaies, boisement alluvial	Castor, Brochet, Anguille…	continuité écologique (brochets…), diversification des milieux à l'aval	continuité : 4 ouvrages	non	
Boire de la Patache & ZH de la Grande Prée	habitat d'eau douce, berges vaseuses, mégaphorbiaies, boisement alluvial, prairies maigres de fauche, magnocariçaies. Forte diversité spécifique.	Pulicaire vulgaire, Gratiole officinale, …	Conservation des habitats et espèces et conversion d'une peupleraie	continuité : 3 ouvrages / sans enjeu	non	
Boires Chapoin, Anjou	habitat d'eau douce, boisement alluvial, berges vaseuses, mégaphorbiaies…	Castor, Gomphe serpentin & Gomphe à pattes jaunes, autres Odonates, Avifaune très diversifiée, Pulicaire vulgaire… Scirpe triquètre, Ichtyofaune (Brochet, Anguille), Chiroptères	restauration des boisements et préservation des habitats et espèces (reconquête habitats Castor, gomphes…), EEE (Jussie, Aster lancéolé, Renouée)	Hydromorpho/dynamique fluviale : en cours d'évaluation	à évaluer	Phase 2, sous influence secteur C et des travaux complémentaires de Oudon
Boire du Cellier	habitat d'eau douce, boisement alluvial, berges vaseuses, mégaphorbiaies (notamment à l'amont et à l'aval)…	Pulicaire vulgaire, Butome en ombelle, Inule britannique, Pigamon jaune, Scirpe triquètre, Odonates, Anguille, Bouvière, Brochet…	restauration des boisements et préservation des habitats et espèces liées aux milieux humides.	Hydromorpho/dynamique fluviale : Suivis, restauration de la continuité aval à prévoir (sables du BV)	à évaluer	Phase 2, sous influence du secteur C
Boire de Mauves	habitat d'eau douce, mégaphorbiaies, boisement alluvial, boisement mixte	Loutre, Castor, Triton palmé, Brochet, Bouvière, Anguille…	reconnexion de ZH, conservation/restauration de la mégaphorbiaie, des habitats d'eau douce, de la fonctionnalité de frayère et conservation du boisement alluvial	Continuité entre les ZH	non	Secteur C
Bras de l'île Clémentine	berges vaseuses, mégaphorbiaies oligohalines, boisement alluvial, roselières	Scirpe triquètre, Angélique des estuaires absente à l'intérieur du bras (bien que présente en amont et en aval)	reconquête habitats pour l'Angélique, le Scirpe triquètre, la mégaphorbiaie oligohaline	Hydromorpho/dynamique fluviale :1 ouvrage transversal	à définir	
Boire de Beaulieu	berges vaseuses, mégaphorbiaies oligohalines, boisement alluvial	Scirpe triquètre, Angélique des estuaires (berge Loire), Anguille…	restauration milieu marnant, diversification des habitats (mégaphorbiaies, boisement alluvial, …), zone refuge amphibiens, frayère poissons…traitement Jussie	Limitation des apports/ bouchon vaseux via une durée de connexion à la Loire plus longue	Oui : buse	


CARTE GÉNÉRALE CLA - 1 / 4
Boire de Gennes
Gennes-Val de-Loire
LOIRE-ATLANTIQUE
MAINE-ET-LOIRE
Angers
Nantes
MAINE-ET-LOIRE
Saumur
Boire du Chapeau
Boire de Dampierre
Boire de Benacle
EVMA34A1-EGIS-STA/02/03/2020
Limite de commune
Projets sur les annexes fluviales inscrits au CLA 2018-2020
Secteurs d'intervention du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (phase 1)
Programme de rééquilibrage du lit de la Loire entre Les Ponts-de-Cé et Nantes
Carte générale CLA - 1 / 4
02/03/2020
N
0 1 2 km
Fond de plan : scan25® - ©IGN - VNF
Source : BD Topo® - ©IGN / VNF
FISH-PASS
THEMA


CARTE GÉNÉRALE CLA - 2 / 4
LOIRE-ATLANTIQUE
MAINE-ET-LOIRE
Angers
Nantes
MAINE-ET-LOIRE
Saumur
Loire-Authion
Boire de Gohier
Boire du Rateau
Grand et Petit Canal
zh du bosquet
Le Louet et Bois rond
Bras de Trébusson et du Hardras
Brissac-Loire Aubance
EVMA34A1-E@S-STAV2/03/2020
Limite de commune
Projets sur les annexes fluviales inscrits au CLA 2018-2020
Secteurs d'intervention du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (phase 1)
Programme de rééquilibrage du lit de la Loire entre Les Ponts-de-Cé et Nantes
Carte générale CLA - 2 / 4
02/03/2020
0 1 2 km
Fond de plan : scan25® - ©IGN - VNF
Source : BD Topo® - ©IGN / VNF
FISH-PASS
THEMA


CARTE GÉNÉRALE CLA - 3 / 4
LOIRE-ATLANTIQUE
MAINE-ET-LOIRE
Angers
Nantes
MAINE-ET-LOIRE
Saumur
Boire de Champtocé
Bras du Bernardeau et du Chalais
Boire Torse
Secteur B
Secteur A
Bras des Babins
Mauges sur-Loire
MAINE-ET-LOIRE
Limite de commune
Projets sur les annexes fluviales inscrits au CLA 2018-2020
Secteurs d'intervention du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (phase 1)
Programme de rééquilibrage du lit de la Loire entre Les Ponts-de-Cé et Nantes
Carte générale CLA - 3 / 4
02/03/2020
0 1 2 km
Fond de plan : scan25® - ©IGN - VNF
Source : BD Topo® - ©IGN / VNF
EVMA34A1-EQS-STA02/03/2020
FISH-PASS
THEMA


CARTE GÉNÉRALE CLA - 4 / 4
LOIRE-ATLANTIQUE
MAINE-ET-LOIRE
Angers
Nantes
MAINE-ET-LOIRE
Saumur
Bras de l'ile Delage
Boire Chapoin
Bras de la Pierre de Drain
Bras des Vinettes
Boire du Cellier
Secteur B
Secteur C
Bras des Brevets
Boire de Drain
Boire de la Patache
LOIRE-ATLANTIQUE
Boire de Mauves
Orée-d'Anjou
Bras de l'ile Clémentine
Nantes
Boire de l'ile Beaulieu
Secteur C
Limite de commune
Projets sur les annexes fluviales inscrits au CLA 2018-2020
Secteurs d'intervention du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (phase 1)
Programme de rééquilibrage du lit de la Loire entre Les Ponts-de-Cé et Nantes
Carte générale CLA - 4 / 4
02/03/2020
0 1 2 km
Fond de plan : scan25® - ©IGN - VNF
Source : BD Topo® - ©IGN / VNF
EVMA34A1-EGIS-STA/02/03/2020
FISH-PASS
THEMA

4. Présentation des annexes inscrites au CLA

➢ **Secteur amont de Montsoreau aux Ponts de Cé**

Dans ce secteur, le lit mineur de la Loire n'a pas été aménagé pour la navigation comme à l'aval, mais est marqué par l'endiguement lié aux levées de protection contre les inondations, aux quais et autres infrastructures et par la présence de coteaux en rive gauche. Ce secteur a été impacté par les extractions de sable et les berges sont aussi majoritairement enrochées ou aménagées.

Certains bras secondaires sont concernés par des ouvrages de franchissement aux îles et les boires sont souvent « perchées ».

Dans ce secteur, le service Sécurité routière, gestion de crise de la DDT 49 (unité Loire et navigation) assure l'entretien et la gestion de la digue d'Authion et du domaine public fluvial de la Loire.

Pour ce secteur, les projets inscrits au CLA concernent des boires « perchées » (boires de Bénacle-Parnay, boire de Dampierre, Boire du Chapeau), deux bras secondaires (La Petite Loire ou boire de Gohier et Le bras de Souzay) et une annexe artificielle (boire du Rateau).

Projet : Boire de Bénacle - Parnay, Boire de Dampierre, Boire du Chapeau

Localisation : Département de Maine-et-Loire - 49

Maitre d'ouvrage : Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire, communes de Saumur, Villebernier, Souzay Champigny, Dampierre.

Partenaires : Parc Naturel Loire Anjou Touraine, Fédération départementale pour la pêche et la protection du milieu aquatique

Historique

Un premier repérage de ces annexes a été réalisé en 2010-2011.

Des relevés topographiques (2014) et inventaires ont été réalisés en 2011 et réactualisés en 2017 par le PNR LAT.

Les grandes lignes du projet visé

Les enjeux et objectifs de restauration ont été définis, de même que les actions à engager.

Les études règlementaires sont prévues en 2020 pour un engagement de travaux à l'automne de la même année.

Le projet consiste en :

- L'amélioration de la connexion de la boire du Chapeau avec le lit principal (connexion actuellement murée et remblayée pour un chemin),
- La préservation d'une magnocariçaie[3] présente sur la boire du Chapeau (pose de clôture)
- L'amélioration de la connexion de la boire de Dampierre (passage d'un chemin à rabaissé)
- L'amélioration de la continuité entre la boire de Bénacle et une zone humide amont,
- La sensibilisation et communication sur les risques de développement des espèces exotiques envahissantes en lien avec des pratiques d'entretien inadaptées.

Ces annexes sont incluses dans le programme d'évaluation globale.

[3] Peuplements de bas –marais et de marais plats dominés par les grandes laîches (Carex vesicaria, Carex rostrata…)

Projet : Boire de Gennes

Localisation : Département de Maine-et-Loire – 49, commune de Gennes-Val-de-Loire

Maître d'ouvrage : Fédération départementale pour la pêche et la protection du milieu aquatique

Partenaires : Parc Naturel Régional Loire Anjou Touraine.

Historique

Cette annexe a bénéficié d'une première action de restauration de sa connexion en 2015, avec le remodelage d'un bourrelet à sa connexion aval (unique connexion).

En 2010, une opération de gestion de la Jussie par arrachage manuel a été menée ainsi que l'abattage de rejets de peupliers/saules dans le lit et la restauration de la ripisylve.

En 2014, des suivis ont été réalisés : piscicoles, amphibiens, mammifères, oiseaux, flore (données d'état initial et identification de dysfonctionnements).

Les grandes lignes du projet visé

La définition de ce projet a été reportée.

Des suivis seront prévus post-2020.

Projet : Boire du Rateau

Localisation : Département de Maine-et-Loire – 49, commune Loire-Authion

Maître d'ouvrage : Commune Loire-Authion

Contact : Patrice BOUCHER (Adjoint Saint Mathurin)

Partenaires : Parc Naturel Régional Loire Anjou Touraine, Maison de la Loire, AAPPMA, FDAAPPMA 49

Historique

Initialement ce projet concernait 2 boires : la boire du Rateau et la boire de l'île de la poste. Un levé topographique de la boire du Rateau et des repérages de terrain avaient été réalisées lors du CRE 2009-2014. En 2016, le projet sur la boire de l'île a été suspendu, faute d'adhésion de l'éleveur.

La boire du Rateau, annexe artificielle, assure des fonctions de zone refuge, de fraie du brochet et accueille des espèces protégées (Pulicaire commune, Bouvière, etc). Classé à l'UNESCO, le patrimoine de la boire du Rateau est reconnu en tant qu'ancien port avec un pourtour en pierres sèches non cimentées, une cale et un pourtour pavé.

En 2017, une première campagne de gestion de la jussie a été réalisée dans cette boire ainsi que des travaux de reconnexion à la Loire à la cote de 19.20 mNFG (20 à 30 cm de décapage).

Pour rappel, les enjeux/objectifs du projet étaient les suivants:

- reconquête d'un habitat frayère à brochets
- conservation d'un habitat pour les amphibiens
- conservation des espèces protégées (Pulicaire vulgaire)
- pérennisation des actions engagées dans la restauration réalisée et animation locale pour la cohérence des projets patrimoine émergents avec la préservation du site.

Les grandes lignes du projet visé

- La poursuite de la gestion de la Jussie avec une intervention partagée professionnel/bénévoles pour les 3 années.
- Le suivi – évaluation de ce projet à réaliser.

Projet : Boire de Gohier ou Petite Loire

Localisation : Département de Maine-et-Loire – 49, commune de Blaison-Saint Sulpice

Maître d'ouvrage : Fédération départementale pour la pêche et la protection du milieu aquatique

Partenaires : Parc Naturel Régional Loire Anjou Touraine

Historique

Cette annexe a bénéficié d'une action dans la cadre du Plan Loire Grandeur Nature dans les années 2000. Des travaux d'élargissement du pont ont été réalisés par VNF afin de permettre l'accès à l'île pour les engins agricoles, en revanche, le projet de suppression d'un ouvrage de type « gué rehaussé » n'a pas abouti à l'époque.

La commune a engagé un inventaire sur la vallée en lien avec la politique ENS (espaces naturels sensibles). Il semble donc intéressant de compléter le diagnostic du territoire par une étude globale du bras. Compte tenu des enjeux croisés avec le projet de restauration de la boire des Buttes mené dans la première phase du CLA, la Fédération pour la Pêche de Maine-et-Loire s'est portée maître d'ouvrage, en accord avec la commune, pour la réalisation de ce diagnostic.

Les grandes lignes du projet visé

Les enjeux pressentis pour ce bras sont les suivants :

- Continuité écologique & restauration de la dynamique fluviale
- Continuité avec la boire des Buttes et un ruisseau
- Préservation des habitats et espèces (Mégaphorbiaie, boisement alluvial, Castor, Brochet, …)

Un projet de restauration pourra ainsi se définir en partenariat avec les différents acteurs pour une mise en œuvre éventuelle post-2021.

➢ **<u>Secteur aval des Ponts-de-Cé</u> (Lien fort avec les actions menées sur le lit principal)**

Dans ce secteur, de la Loire dite navigable, les aménagements pour la navigation, les enrochements ou aménagements de berges ainsi que les extractions massives de sable ont induit l'incision du lit et la modification des connexions entre le bras principal et ses annexes.
D'amont vers l'aval, en lien plus ou moins étroit, avec les secteurs de rééquilibrage du lit principal, nous pouvons préciser les projets suivants.

Projet : Louet et Bois rond / les bras du Trébusson et du Hardras (secteur de remodelage du lit principal en 2010)

Localisation : Département de Maine-et-Loire – 49

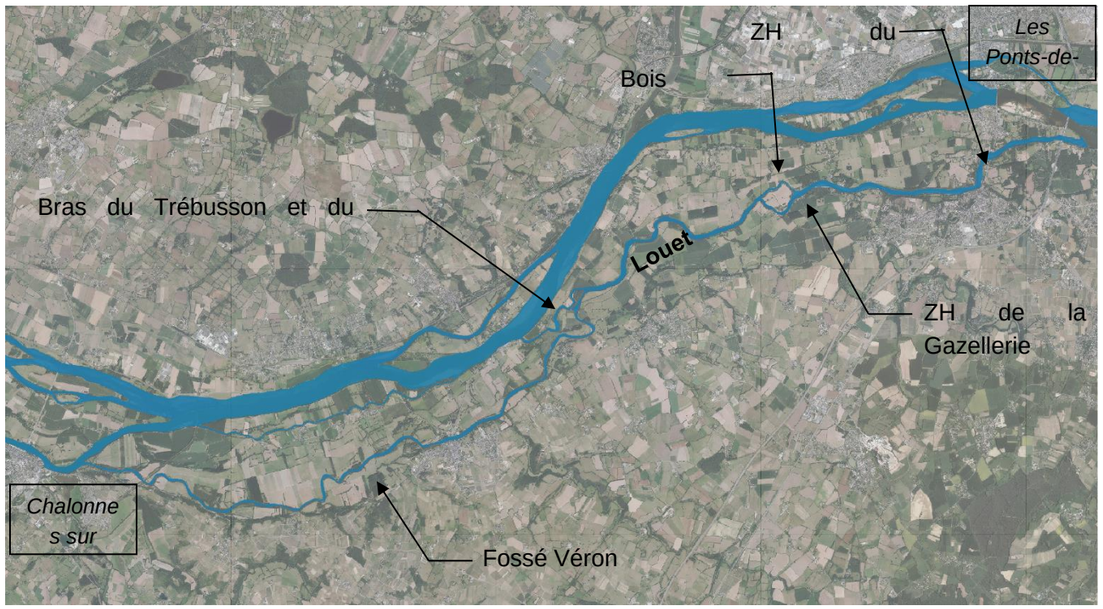
Maître d'ouvrage : Syndicat Layon Aubance Louets et FDAAPPMA 49 pour les zones humides

Partenaires : FDAAPPMA 49

Description

Le Louet est le plus long bras de la Loire estuarienne amont (25 km). Il est lié à la Loire (15 à 20% du débit de Loire) et alimenté aussi par la rivière Aubance, le ruisseau de la Besnarderie et plusieurs petits cours d'eau temporaires. Il possède lui-même plusieurs annexes : le bras du Bois rond, les bras du Trébusson et du Hardas, le bras du Fossé Véron, de multiples zones humides dont la Gazellerie et du Bosquet, la boire de St Maurille (en rive droite du Louet amont – derrière une levée)

Plusieurs levées agricoles bordent le Louet. Ses berges sont majoritairement enrochées, voire aménagées/maçonnées, ce qui bloque la dynamique latérale et appauvrit la qualité écologique de ses rives. La morphologie du lit du Louet semble encore contrainte sur sa partie aval malgré la suppression en 2013 d'un seuil transversal qui était situé environ 200 m en amont de la confluence du Louet et de la Loire.



Historique

Le Louet et le Bois Rond ont bénéficié d'un ensemble d'actions de restauration depuis 2010, dans le cadre du CRE Loire estuarienne amont et du CLA 2015-2017, avec :

- La restauration de la ripisylve (coupe de plus de 1000 peupliers de culture)
- L'abaissement d'un gué surélevé au niveau du Bois Rond qui bloquait la continuité et n'était submergé qu'en période de crue
- La suppression d'un seuil au Candais (Aval du Louet)
- La suppression d'un puits présent dans le lit (Denée)
- Le confortement d'urgence du seuil du Hardas (diagnostic global du bras attendu)
- La restauration d'une zone humide au niveau de la Gazellerie (MO : FDAAPPMA 49)
- Des suivis topo/bathy, Castors (suivis annuels/LPO), Odonates (CPIE Loire en Anjou), flore…
- La gestion sélective des embâcles. Certains ont été conservés pour diversifier les habitats.

Les grandes lignes du projet visé

Les enjeux pour le Louet et ses annexes sont à la fois liés à l'équilibre hydro-écologique du réseau d'annexes et à la conservation des habitats et espèces présentes. Le programme proposé pour le CLA 2018-2020 a été reporté et est en cours de révision. Plusieurs enjeux sont examinés et des études se poursuivent :

- Le suivi de la végétation des berges
- Une étude portant sur l'équilibre ou le déséquilibre hydro-sédimentaire entre le Louet et les bras du Trébusson et du Hardas et un suivi de l'évolution morphologique du Louet est prévue pour 2020.
- La poursuite des suivis biologiques (Odonates, Castors, habitats/Flore).
- La sensibilisation / concertation pour le respect de la règlementation (aménagement de berges, remblais) sera aussi nécessaire compte tenu de la multiplication de certaines pratiques.

D'autres zones humides ont pu être identifiées et pourront faire l'objet d'un diagnostic particulier sur la période post-2021:

- ***La boire St Maurille***, une annexe séparée du Louet par une petite levée dont les ouvrages de régulation nécessiteraient un règlement d'eau incluant les enjeux écologiques pour ces espaces,

- ***Le Fossé Véron***, petit bras du Louet,

- La zone humide du Bosquet (projet en report depuis 2014).

Projet : Zone humide du Bosquet (secteur de remodelage du lit principal en 2010)

Localisation : Département de Maine-et-Loire – 49, Commune de Mûrs-Erigné

Maître d'ouvrage : Fédération départementale pour la pêche et la protection du milieu aquatique

Partenaires : Parc Naturel Régional Loire Anjou Touraine

Historique et projet visé

Cette annexe, déjà inscrite au programme 2009-2014, n'a pas encore bénéficié des actions de restauration qui visent à :

- Restaurer une frayère à brochets, par gestion de la végétation (dont Peupliers et Erables négundo) et reconnexion au Louet
- Préservation de la mégaphorbiaie
- Contrôle des espèces exotiques et envahissantes (maintien des boisements pour contrôler la Jussie et abattage des érables négundo de la bordure de la zone herbacée).

Ce projet pourra être revu pour une éventuelle mise en œuvre post-2020.

Projet : Grand et petit canal de Savennières (secteur de remodelage du lit principal en 2010)

Localisation : Département de Maine-et-Loire – 49, Savennières

Maître d'ouvrage : Commune de Savennières

Présentation et historique

Ces deux annexes sont des boires séparées par la levée SNCF. Plusieurs ruisseaux temporaires les alimentent. Le Grand Canal est connecté à la Loire via le bras de la Guillemette pour des débits de Loire dépassant les 400 m^3/s. L'été, seul le Grand Canal reste en eau.

Aucune espèce floristique à enjeu n'a été inventoriée sur le site en 2014-2015. La colonisation du site par la Jussie et le Paspale à deux épis couvrait l'ensemble des annexes. Une nouvelle espèce exotique envahissante (EEE) a aussi été relevée, l'*Amorpha fructicosa* sur les parties amont des annexes (« boires privées »). Le Grand Canal constitue une zone de frayère fonctionnelle notamment depuis les travaux de reconnexion de l'annexe au bras de la Guillemette.

En effet, ces deux annexes ont bénéficié d'actions de restauration en 2015 : arrachage mécanique de la Jussie, reconnexion au bras de la Guillemette (80ml, 2m de large et 20cm de profondeur) et de quelques chantiers d'arrachage manuel.

Aujourd'hui, la sensibilité de ces annexes vis-à-vis des espèces exotiques envahissantes (EEE) est évaluée et suivie.

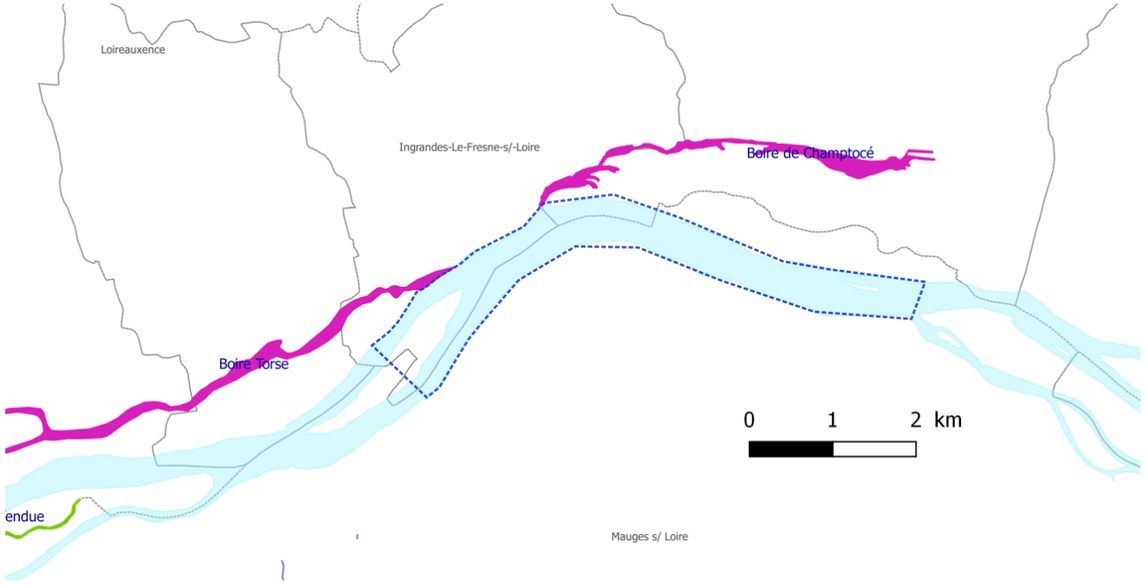
Les grandes lignes du projet visé

L'enjeu de diversification des milieux est au cœur de ce projet. Les suivis et accompagnements du réseau EEE permettront de sensibiliser et de conseiller les partenaires locaux sur la gestion du site. Aucune action de restauration n'est aujourd'hui envisagée.

A noter que les inventaires réalisés en 2019 ont fait état de la présence d'espèces protégées ou patrimoniales au droit de la connexion de la boire avec le bras de la Guillemette (Pulicaire commune, Inule d'Angleterre, Butome …) et une mégaphorbiaie se développe.

La sensibilisation et l'accompagnement pour la résilience du milieu reste un objectif.

Projets sous influence du secteur de remodelage des épis d'Ingrandes-Le-Fresne-sur-Loire / Montjean (secteur A)



Secteur de rééquilibrage du lit principal

Annexes fluviales – projet 2018-2020

Annexes fluviales – suivis post-restauration/évaluation globale

Projet : Boire de Champtocé (en lien avec le secteur A du lit principal)

Localisation : Département de Maine-et-Loire – 49, Communes de Champtocé sur Loire et Ingrandes-Le-Fresne-sur-Loire

Maître d'ouvrage : Commune jusqu'en 2014, Communauté de Communes Loire Layon Aubance jusqu'en 2018 & Syndicat Mixte des Basses Vallées Angevines et de la Romme depuis.

Présentation et historique

La boire de Champtocé est alimentée en aval par la Loire en période de hautes eaux et en amont par les ruisseaux de la Romme et de la Loge.

Elle a bénéficié d'actions de restauration sur la période 2016-2017 qui ont été finalisées en 2018 (suppression d'un ouvrage, restauration de la ripisylve, restauration de la continuité avec un ruisseau...). Concernant la Jussie, les actions d'arrachage manuel engagées depuis 2010 par la commune semblaient très satisfaisantes jusqu'en 2016. La gestion manuelle de la Jussie n'ayant pas pu être menée de façon satisfaisante en 2016 (crue printanière) et en 2017 (étiage sévère et disponibilité de l'entreprise), les principes de contrôle ont évolué vers un arrachage manuel sur des zones très localisées et la libre évolution de la végétation des berges afin de limiter le développement de la Jussie par l'ombrage et la résilience des milieux.

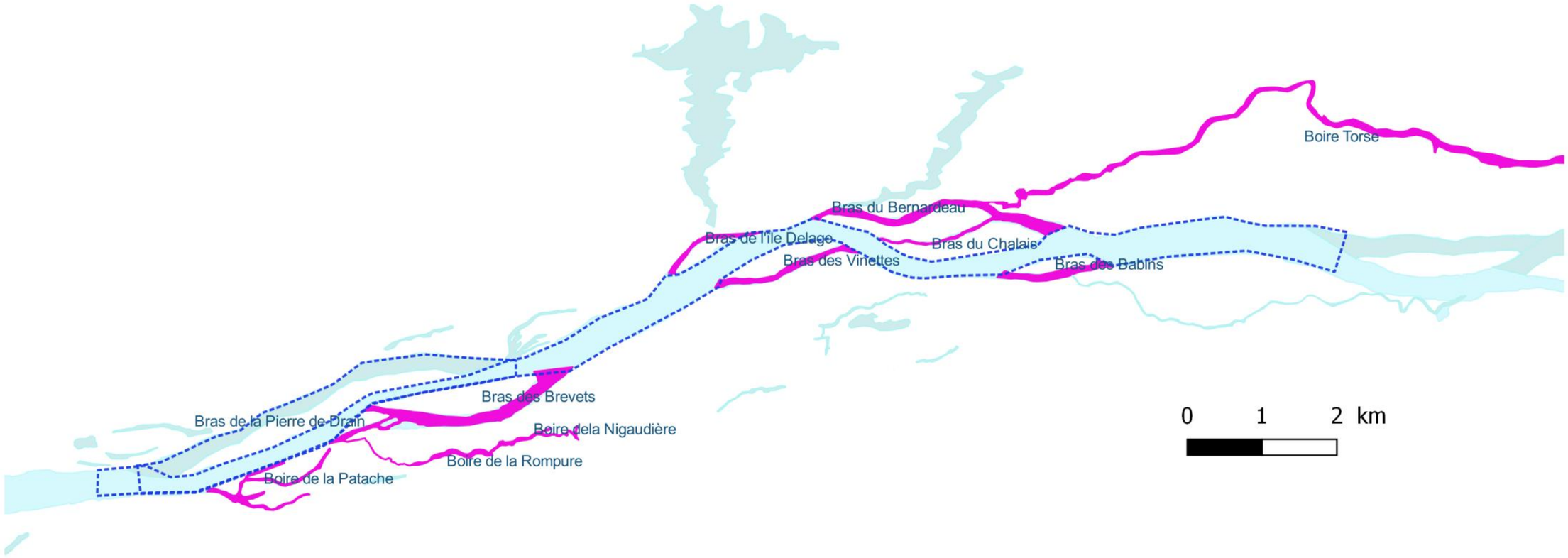
Les grandes lignes du projet réalisé entre 2016 et 2018 :

Les grands objectifs de restauration sur cette boire sont la conservation des habitats présents en berges avec la conservation des stations de Pulicaire vulgaire (espèce protégée très présente depuis l'abaissement des niveaux d'eau depuis 2016), au droit des anciens herbiers de Jussie. Les actions mises en œuvre ont été :

- La suppression d'un ouvrage à batardeau et l'aménagement d'un radier de moins de 50 cm
- Le remplacement de buses à la connexion d'un petit affluent, par une passerelle
- Un gué à rabaisser de 50 cm (cote 8,5 mNGF)
- L'évacuation des ruines d'un pont effondré en travers de la boire (Pont de Ponet)
- La restauration de la végétation (peupliers notamment)
- Une mise en pente douce de 90 ml de berges
- Le rétablissement de la continuité entre la boire et une zone humide fonctionnelle pour le fraie du brochet (curage d'un fossé et remplacement d'une buse par un gué)
- Le suivi de la jussie se poursuit et le développement spontané de la végétation de berge est favorisé pour limiter la colonisation (enjeux de sensibilisation et conciliation avec l'usage pêche très développé sur une partie du site).

Depuis la mise en œuvre de ces actions, des inventaires réalisés en 2019 montrent un enrichissement de la zone humide (espèces protégées et habitats).

Projets sous influence du secteur de remodelage des épis entre Anetz et Oudon (secteur B)



Projet : Boire Torse (en lien avec le secteur B du lit principal)

Localisation : Département de Loire-Atlantique – Communes de Loireauxence, Montrelais et Vair-sur-Loire
Maître d'ouvrage : COMPA
Partenaires : FDAAPPMA 44

Présentation et historique

Cette annexe a été restaurée dans la cadre du Plan Loire Grandeur Nature entre 2004 et 2009.

Depuis, un règlement d'eau des ouvrages a été suivi, des interventions sur la Jussie ont été menées chaque année, de même que des interventions ponctuelles sur les embâcles en pied d'ouvrage.

En 2017, des suivis/inventaires ont été réalisés en lien avec la fonctionnalité frayère à brochets, les amphibiens, les mammifères aquatiques, les habitats/flore et les macro-invertébrés benthiques.

Les grandes lignes du projet visé

Les suivis réalisés en 2017 devaient alimenter la définition précise des actions complémentaires de restauration envisageables, à savoir :

- La gestion de la végétation du lit, des berges et autres zones latérales avec des interventions sur :
  - 3 zones à fonctionnalité frayère (entretien)
  - 4 zones à repréciser pour la préservation des habitats (mégaphorbiaie…)
  - Une zone amont du plan d'eau du château de Varades à confirmer
  - 5 secteurs d'intervention sur la ripisylve et la sensibilisation des riverains sur l'impact des cultivars de peupliers en berge
  - 1 zone d'embâcles localisée et la gestion raisonnée des embâcles isolés (conservation /diversification)
  - Sensibilisation sur l'enjeu de conservation des boisements alluviaux et sur la préservation des espèces (Castor, flore…)

- Le contrôle des Jussies afin de conforter les efforts déjà engagés et de limiter leur propagation (bilan des actions passées, méthode EEE pour la définition d'un plan d'action adapté et favoriser au maximum l'ombrage croisé avec l'enjeu de conservation des boisements rivulaires

- L'évaluation de l'impact des petits ouvrages transversaux (busages) et rétablissement de la continuité en fonction des enjeux.

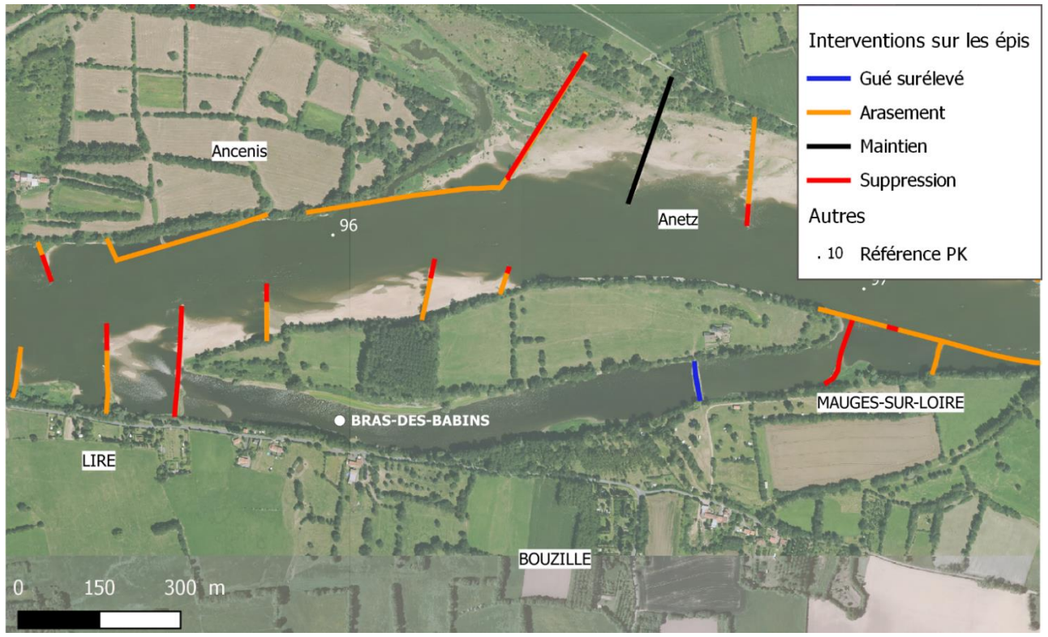
A ce jour, le projet est suspendu.

Projet : Bras des Babins (en lien avec le secteur B du lit principal)

Localisation : Département de Loire-Atlantique et de Maine-et-Loire – Communes de Mauges-sur-Loire, Orée d'Anjou et Vair-sur-Loire
Maître d'ouvrage : Voies navigables de France

Présentation

C'est un bras secondaire contraint par une chevrette à l'amont, des épis à l'amont et à l'aval et un ouvrage transversal. Le bras est déconnecté au niveau des ouvrages pour des débits inférieurs à 700m^3/s environ mais reste en eau à l'étiage. Les berges sont enrochées très localement à l'amont et au droit de l'ouvrage transversal uniquement. La ripisylve et les boisements sont peu diversifiés et limités souvent au talus de berges.



Les grandes lignes du projet envisagé post-2020

Voies navigables de France est le maitre d'ouvrage des actions de restauration à mener dans ce bras. Les enjeux et objectifs poursuivis sont les suivants :

- Restaurer la continuité du bras et sa dynamique fluviale
- Maintenir la capacité hydraulique en période de crue
- Diversifier les habitats et conserver voire enrichir la capacité d'accueil (castor, Gomphes, Ichtyofaune…)
- Restaurer les boisements
- Rechercher une solution adaptée et non impactante pour les accès

Les actions prévues dans le cadre du programme de rééquilibrage du lit de la Loire sont les suivantes :

- Arasement de la chevrette en entrée de bras, avec une échancrure
- Arasement de l'épis en entrée de bras
- Suppression du 2^e épis en entrée de bras et de l'épi en sortie de bras

Des actions de restauration de l'ouvrage de franchissement seront définis a posteriori.

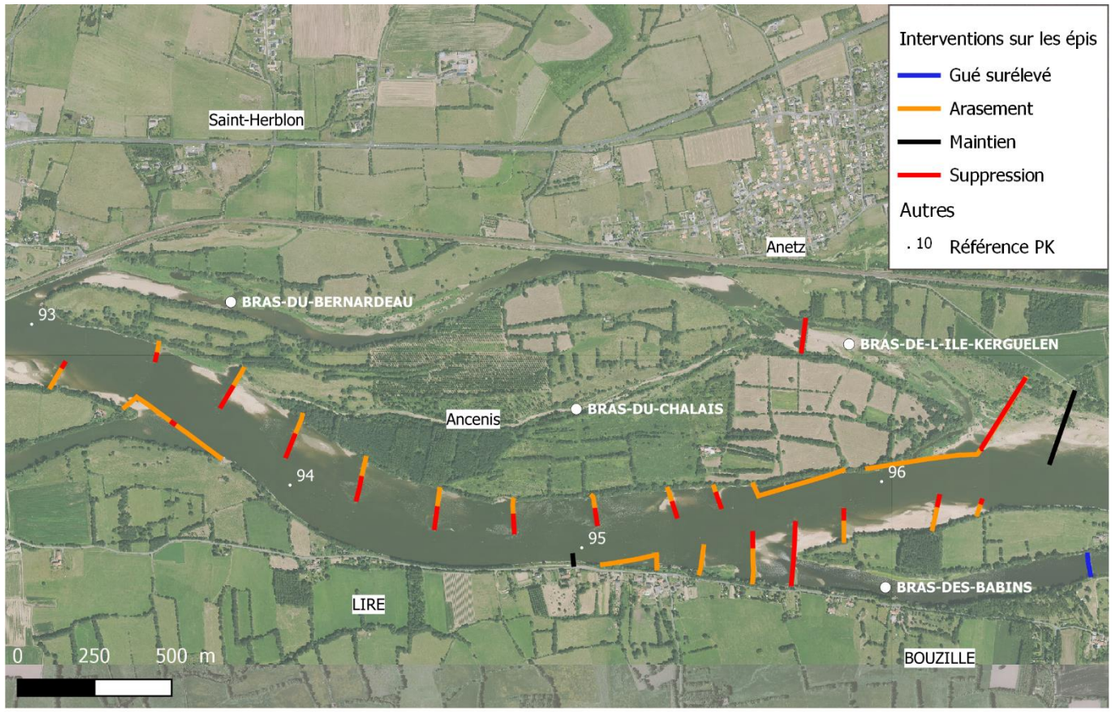
Projet : Bras du Bernardeau et du Chalais, boire rousse (en lien avec le secteur B du lit principal)

Localisation : Département de Loire-Atlantique – 44 – Communes de Vair-sur-Loire et d'Ancenis

Maître d'ouvrage : Voies navigables de France

Présentation

Le bras du Bernardeau est un bras secondaire dont la dynamique est contrainte par un atterrissement en partie amont lié à une chevrette, des épis, un ouvrage transversal et un gué ponctuellement remblayé au niveau de l'atterrissement. Le bras est déconnecté à l'amont pour des débits de Loire inférieurs à 450m^3/s mais connecté par l'aval jusqu'à 200m^3/s environ.
Le bras du Chalais est moins connecté (débit 1100 m^3/s).
Des diagnostics ont été réalisés dans ce bras sous la maitrise d'ouvrage de la Fédération de pêche de Loire-Atlantique.



Les grandes lignes du projet visé

Les objectifs de restauration du bras à mener sont les suivants :

- Augmenter l'efficacité attendue de la réouverture du bras : redonner une dynamique fluviale plus naturelle au bras, continuité à restaurer notamment vis-à-vis de l'ouvrage transversal ;
- Augmenter la capacité d'accueil de certaines espèces (Gomphes de Loire, Castor, poissons…) ;
- Conforter à terme les habitats boisements alluviaux, mégaphorbiaie, berges vaseuses… ;
- Concilier le rétablissement de la continuité du bras et l'enjeu de maintien des activités adaptées sur l'île (accès).

Les actions prévues dans le cadre du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (maitrise d'ouvrage VNF) sont :

- Suppression de la partie transversale du duis qui barre l'entrée du bras et abaissement de sa partie longitudinale
- Maintien d'un épi « déflecteur » (épis à l'amont du bras qui doit permettre d'éviter un apport de sable trop important dans le bras),
- Raccourcissement et/ou abaissement des autres épis ;
- Suppression du seuil transversal présent à 700 m en aval de la connexion amont.

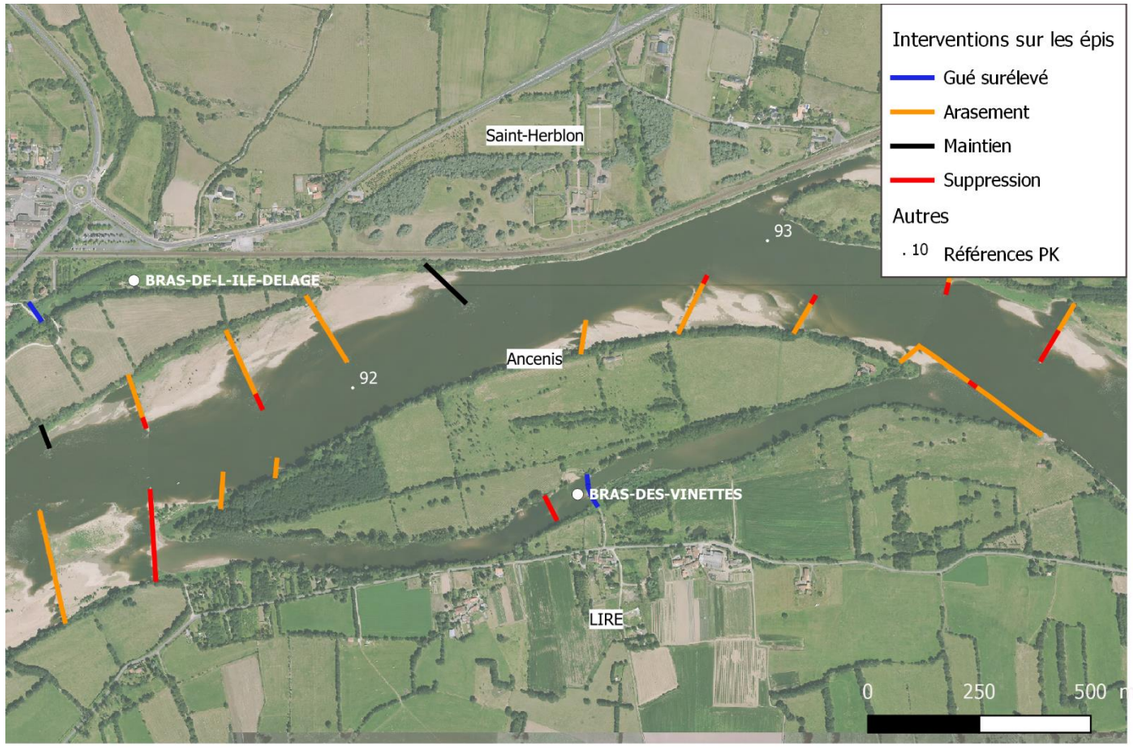
Des suivis permettront de définir des actions de restauration complémentaires, si nécessaire.

Projet : Bras des Vinettes ou bras de « l'île aux Moines » (en lien avec le secteur B du lit principal)

Localisation : Départements de Loire-Atlantique et de Maine-et-Loire – Communes d'Ancenis et d'Orée d'Anjou
Maître d'ouvrage : co-maitrise d'ouvrage Conseil Départemental 44 & Voies navigables de France

Présentation

C'est un bras secondaire contraint par une chevrette à l'amont, des épis à l'aval, un ouvrage transversal et un « gué plein rehaussé ». Le bras est déconnecté au niveau des ouvrages pour des débits inférieurs à 660 m^3/s.
Les berges sont enrochées avec un point d'érosion en rive droite à l'aval du « gué ». La morphologie est peu diversifiée avec des berges abruptes enrochées. Le gué réhaussé est utilisé par l'exploitant agricole pour accéder à l'île.



Les grandes lignes du projet visé

La définition et la localisation des actions de restauration de ce bras, prévues sous la maitrise d'ouvrage du Conseil départemental 44, sont en cours de validation par un groupe de travail et le maitre d'ouvrage.

Ces actions répondent à des objectifs communs avec les travaux de restauration à réaliser par VNF dans le cadre du programme de rééquilibrage. Ils sont les suivants :

- augmenter l'efficacité attendue de la réouverture du bras : dynamique fluviale plus naturelle, continuité hydro-écologique à restaurer (notamment vis-à-vis des ouvrages transversaux existants) ;
- concilier le rétablissement de la continuité du bras et l'enjeu de maintien des activités adaptées sur l'île (accès).
- augmenter la capacité d'accueil de certaines espèces (Gomphes de Loire, Castor, Oiseaux, poissons…) ;
- conforter à terme les habitats boisements alluviaux, mégaphorbiaie, berges vaseuses… ;
- favoriser la libre évolution d'un linéaire de berge et le développement d'habitats pionniers (hirondelle des rivages, Guêpiers d'Europe…)

Les actions prévues dans le cadre du programme de rééquilibrage (maitrise d'ouvrage de VNF) sont:

- Abaissement de la chevrette à l'amont du bras avec une échancrure ;
- Suppression de l'épi aval ;
- Abaissement des autres épis ;
- Suppression du seuil transversal, présent à 1 km en aval de la connexion amont.

Des travaux de restauration du bras des Vinettes seront donc menés par le Conseil départemental du 44 (non définis précisément à ce jour) et par Voies navigables de France.

Projet : Bras de l'île Delage (en lien avec le secteur B du lit principal)

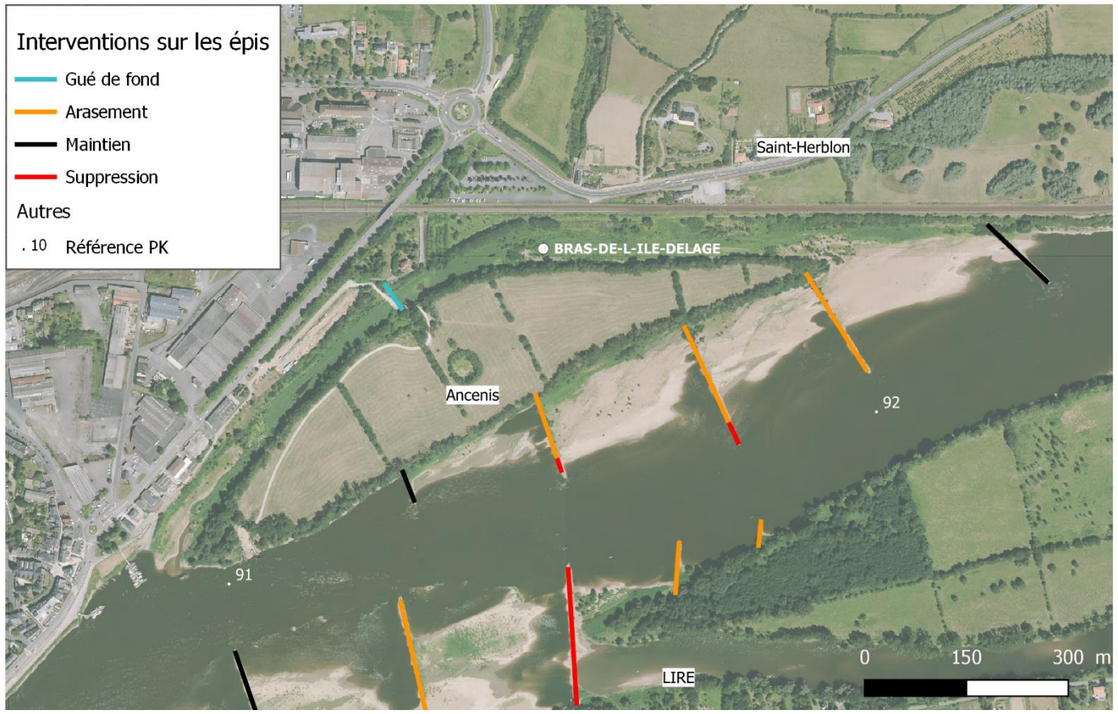
Localisation : Département de Loire-Atlantique – Communes d'Ancenis et de Vair-sur-Loire
Maître d'ouvrage : Voies navigables de France

Présentation et historique

C'est un bras secondaire contraint par des épis amont. Le bras est connecté à l'amont pour des débits d'environ 800 à 900 m^3/s.
Ce bras a bénéficié d'actions de restauration en 2015 consistant à :

- abaisser un gué (le plus à l'aval) et supprimer deux zones d'enrochements dans le lit (Ville d'Ancenis)
- gérer la végétation du lit et des berges (VNF)

Depuis des travaux d'abaissement de 80 cm de l'ouvrage de franchissement, sa connexion aval est effective pour des débits moins importants et permet une connexion entre le marais de grée et le chenal principal pour des débits de 600 m^3/s.



Les grandes lignes du projet visé

Des actions de restauration ont déjà été menées dans ce bras par la ville d'Ancenis et par VNF. Les futures actions prévues sont intégrées aux travaux de restauration inscrits dans le programme de rééquilibrage du lit de la Loire.

L'ensemble des actions menées (et à mener) répondent aux objectifs suivants :

- Augmenter l'efficacité attendue de l'ouverture du bras en rétablissant une dynamique fluviale plus naturelle ;
- Préserver les habitats et espèces (boisements alluviaux, mégaphorbiaie, berges vaseuses…)
- Améliorer la continuité entre le marais de Grée (exutoire dans le bras) et la Loire.

Les travaux de restauration prévus dans le cadre du programme de rééquilibrage (maitrise d'ouvrage VNF) prévoient :

- maintien de l'épi à l'amont du bras pour jouer le rôle de déflecteur à sédiments et ainsi limiter les apports de sable dans le bras ;
- raccourcissement et/ou abaissement des autres épis de l'île (rive gauche) ;

Des suivis permettront d'évaluer les actions de restauration menées et d'en définir des complémentaires si cela paraissait nécessaire.

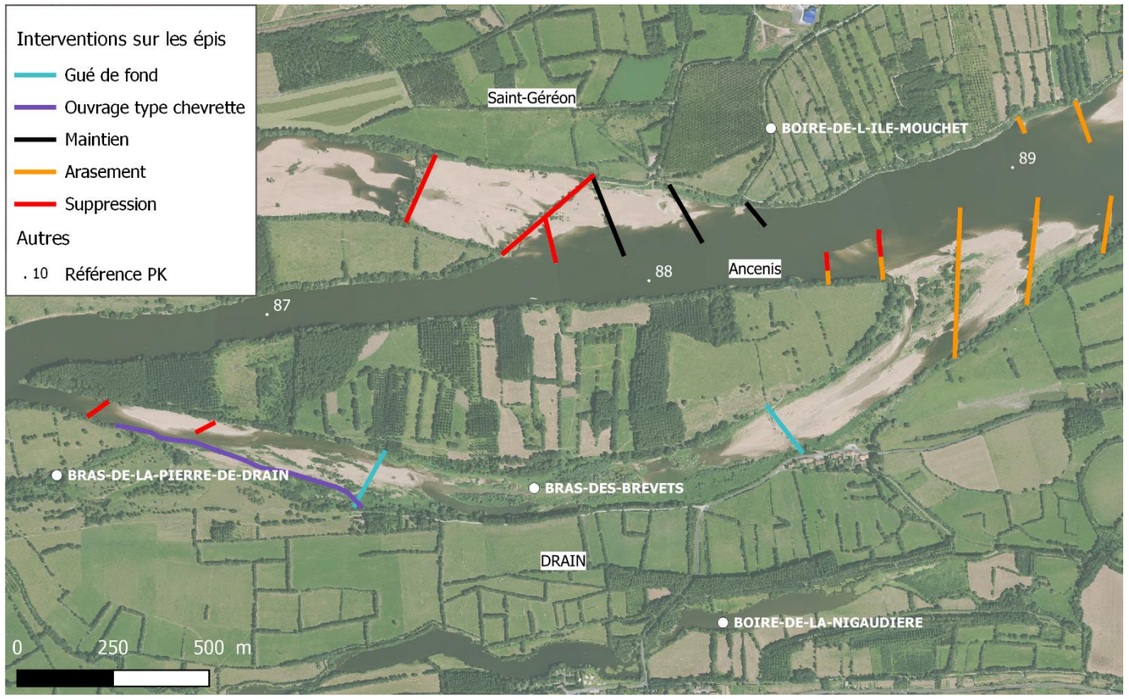
Projet : Bras des Brevets (en lien avec le secteur B du lit principal)

Localisation : Département de Loire-Atlantique et de Maine-et-Loire – Communes d'Ancenis et d'Orée d'Anjou
Maître d'ouvrage : Voies navigables de France

Présentation et historique

Le bras des Brevets est un bras secondaire connecté pour des débits d'environ 600m^3/s, contraint par une série d'épis à l'amont. Ce bras présente des habitats très diversifiés en début d'expression pour certains. Les enrochements de berges sont très localisés. Deux passages à gué sont aussi présents en travers du bras (sans incidence à ce jour).

Ce bras a bénéficié d'une action de gestion de la végétation du lit en 2013-2014 et un ancien gué a déjà été abaissé 2013. Aujourd'hui, le lit se revégétalise et dans l'attente du rétablissement d'une dynamique fluviale plus naturelle, des actions ponctuelles d'entretien sont réalisées afin de maintenir un chenal d'écoulement.



Les grandes lignes du projet visé

Des actions d'entretien de la végétation se développant au sein du bras ont déjà été menés. Les futures actions prévues dans ce bras sont intégrées aux travaux de restauration inscrits dans le programme de rééquilibrage du lit de la Loire.

Les objectifs poursuivis sont les suivants :

- favoriser une dynamique fluviale plus naturelle, avec une remobilisation des sédiments,
- diversifier la morphologie du lit,
- enrichir la diversité des habitats, en particulier sur le secteur amont du bras,
- conforter et conserver les habitats en cours/début d'expression, tout en maintenant un chenal ouvert,
- conserver les berges naturelles,
- Suivre les impacts des gués (sans incidence à ce jour).

Les actions prévues dans le cadre du programme de rééquilibrage du lit de la Loire (maitrise d'ouvrage de VNF) sont :

- abaissement des épis à l'amont du bras ;
- suppression de restes d'épis à l'aval du bras.

Des suivis permettrons de définir d'éventuelles actions complémentaires, notamment vis-à-vis de l'entretien de la végétation du bras si cela semblait toujours nécessaire.

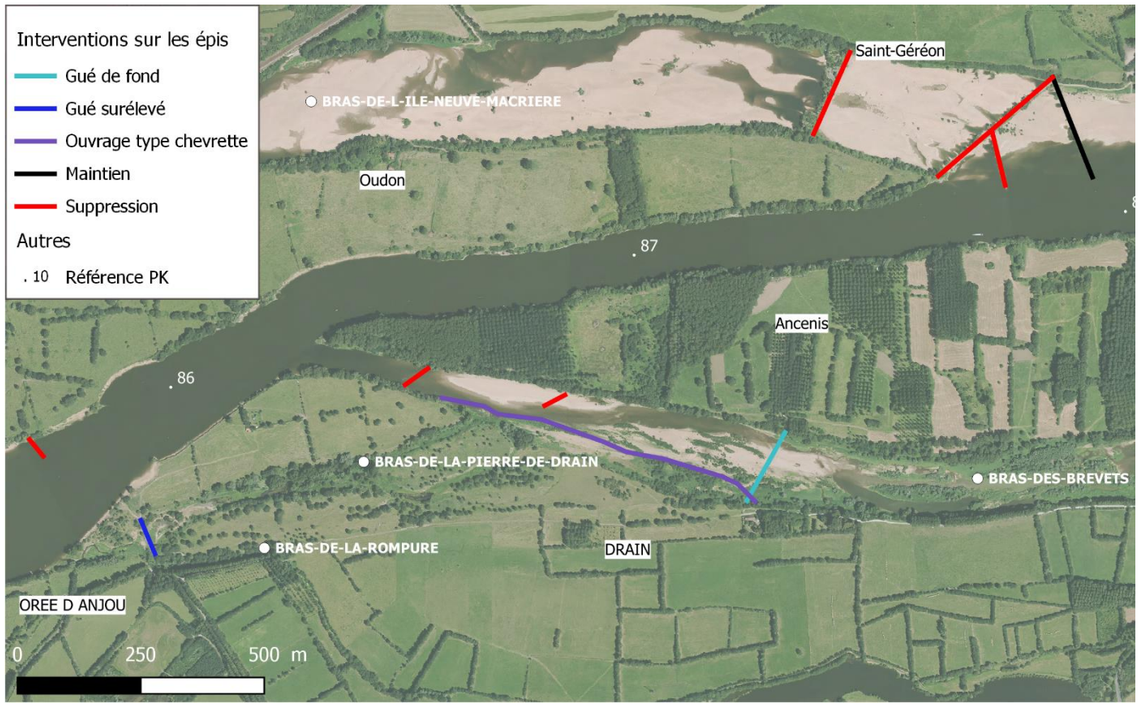
Projet : Bras de la Pierre de Drain (en lien avec le secteur B du lit principal)

Localisation : Département de Maine-et-Loire – Commune d'Orée d'Anjou
Maître d'ouvrage : co-maîtrise d'ouvrage SMIB Evre Thau Saint Denis & Voies navigables de France

Présentation et historique

Le bras de la Pierre de Drain, encore bras secondaire actif dans les années 60s, est aujourd'hui un bras secondaire connecté pour des débits supérieurs à 1 300 m^3/s. Ce bras présente un ouvrage s'apparentant à une chevrette à l'amont et un ouvrage transversal imposant à l'aval (impact à évaluer).

Le bras est aujourd'hui exploité par l'élevage sur toute sa partie amont (prairie/pâturage) avec la présence d'abreuvoirs creusés dans la lit du bras. Des extractions de sable dans le bras et des terrassements ont été constatés en amont et/ou en aval de l'ouvrage transversal.



Les grandes lignes du projet visé

Le SMIB Evre Thau Saint-Denis envisage la mise en œuvre d'actions de restauration dans le bras de la Pierre de Drain, notamment concernant l'ouvrage transversal à l'aval du bras (actions non définies précisément à ce jour). Le remodelage des épis dans le cadre du programme de rééquilibrage mené par Voies navigables de France aura des effets bénéfiques sur la dynamique fluviale du bras.

Les actions menées par le SMIB Evre Thau Saint-Denis et VNF répondent aux objectifs suivants :

- Rétablir une dynamique fluviale plus naturelle et la continuité hydro-écologique dans le bras, notamment vis-à-vis de l'ouvrage transversal à l'aval ;
- Conserver /préserver des habitats de type boisements alluviaux, mégaphorbiaies, berges vaseuses ;
- Préserver la naturalité des berges ;
- Sensibiliser au respect des milieux et de la réglementation.
- Concilier le rétablissement de la continuité du bras à l'aval et l'enjeu de maintien des activités adaptées sur l'île (accès) ;

Dans le cadre du programme de rééquilibrage mené par VNF, la restauration du bras de la Pierre de Drain est étroitement liée à l'amélioration de la dynamique fluviale attendue dans le bras des Brevets suite aux actions de remodelage des épis (voir page précédente). Aucune autre action sur les ouvrages existants dans le bras n'est prévue sous la maitrise d'ouvrage de VNF.

Les actions menées par le SMIB et VNF auront donc vocation à restaurer un fonctionnement plus naturel du bras.

Projet : Boires de Drain (en lien avec le secteur B du lit principal)

Localisation : Département de Maine-et-Loire – Commune d'Orée d'Anjou

Maître d'ouvrage : SMIB Evre Thau Saint Denis (depuis janvier 2019)

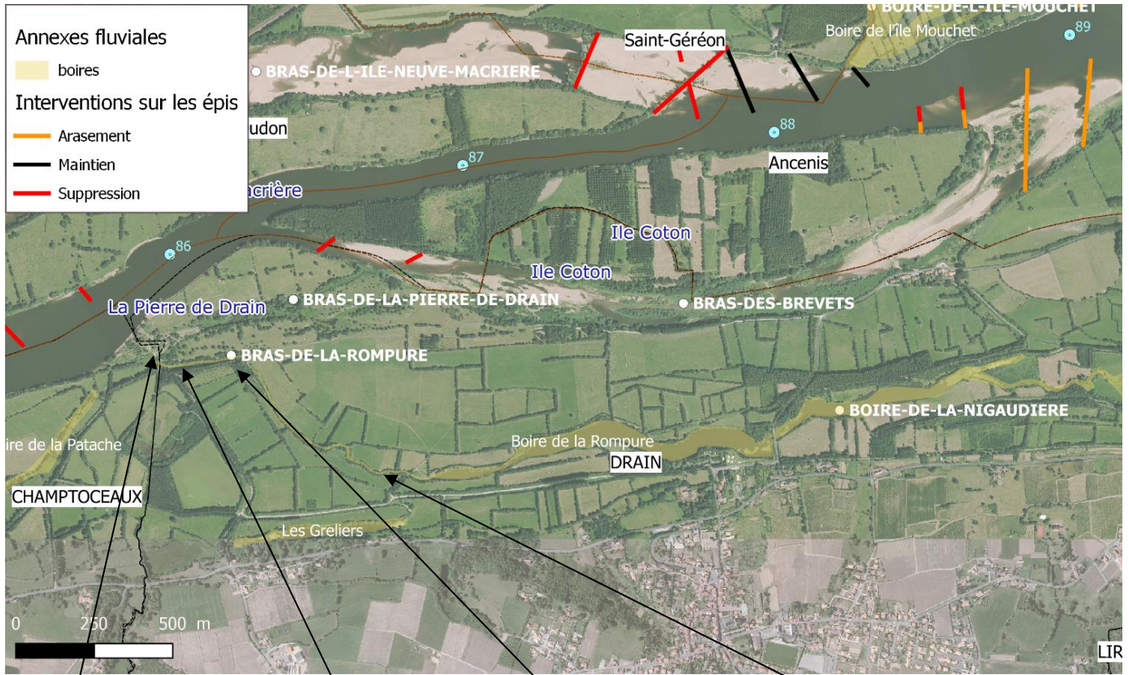
Présentation et historique

Les boires de Drain (Nigaudière et Rompure) fonctionnent comme un unique bras mort connecté à la Loire pour des débits supérieurs à 1000 m^3/s. La levée du Marillais sépare les boires de la Loire (porte à flot) et la connexion boire-Loire ne se fait qu'environ 30 % du temps via le bras de la Pierre de Drain.

Les boires de Drain correspondent à :
- une partie aval, de type ruisseau chenalisé et contraint par 4 ouvrages, en assec l'été.
- une partie amont de type vasque restant en eau l'été

Ces boires sont au cœur d'un ensemble de zones humides latérales aux vasques et en lien avec le ruisseau des Robinets (bassin versant de plus de 8 000 ha), la boire des Grelliers et le bras de la Pierre de Drain. Un ouvrage nuit à la continuité entre le ruisseau des Robinets et les boires.

En 2010, la commune a effectué le remplacement d'un barrage par un ouvrage double vantelle permettant la gestion des niveaux d'eau pour la fonctionnalité frayère à Brochet (inondation de prairies et hauts de berges) et la libre circulation des espèces entre mai et janvier. Un règlement d'eau est suivi.



Les grandes lignes du projet visé

La restauration de la continuité écologique au droit de l'ouvrage à l'amont (entre le ruisseau des Robinets et les boires) et des 4 ouvrages à l'aval des boires est recherché, avec un réaménagement de ces ouvrages.

Les autres grands objectifs d'actions de restauration dans ce secteur sont les suivants :
- Conservation des habitats et des espèces
- Préservation de la ripisylve à l'aval et diversification des boisements à l'amont
- Surveillance et conservation du Castor ; sensibilisation à sa protection
- Maintien de l'accès pour l'exploitation des prairies
- Sensibilisation à la présence de culture de peupliers en zones humides

Ce projet est reporté post-2020.

Projet : Boire de la Patache et zone humide de la Grande Prée (en lien avec le secteur B du lit principal)

Localisation : Département de Maine-et-Loire – Commune d'Orée d'Anjou

Maître d'ouvrage : Mauges Communauté

Présentation et historique

Cette boire est liée à plusieurs zones humides et contrôlée par 3 ouvrages dont une porte à flot (levée de protection contre les inondations). Cette zone présente des milieux naturels diversifiés et riches. L'arrêt du curage de l'aval de la boire a permis la mise en place d'une mégaphorbiaie sur une surface importante.

Les grandes lignes du projet visé

Compte tenu du diagnostic réalisé, aucune action de restauration n'est envisagée pour cette boire.

La conservation et la préservation de la richesse des milieux est l'enjeu majeur de cette boire.

En complément, des actions de sensibilisation et un accompagnement seront envisagés :

- Auprès d'un riverain afin de reconvertir une peupleraie en boisement spontané ou espace prairial,
- Auprès d'un exploitant agricole pour une réduction du piétinement par le bétail.

Projet : Boires de la Varenne (boire Chapoin, boire d'Anjou, boire Saint-Nicolas)

Localisation : Département de Maine-et-Loire – Commune d'Orée d'Anjou

Maître d'ouvrage : Voies navigables de France et communauté de communes du Canton de Champtoceaux

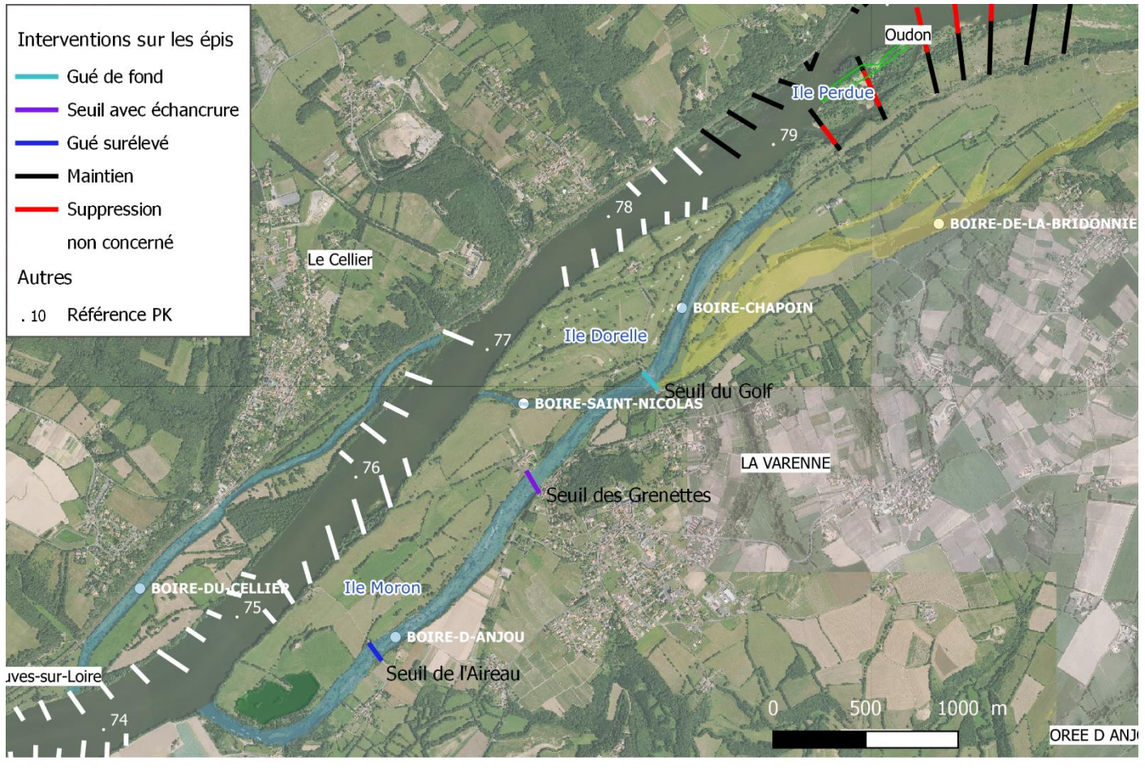
Présentation et historique

Des repérages et inventaires réalisés lors du CRE 2009-2014 avaient mis en évidence un besoin de rétablir la continuité écologique au niveau de 3 ouvrages, de gérer la végétation présente dans le lit au niveau des atterrissements engendrés par les ouvrages.

La concertation avec les riverains et exploitants, démarrée en 2011, s'est poursuivie et a permis la mise en œuvre des actions suivantes :

- En 2015, VNF a réalisé la gestion de la végétation du lit et la Communauté de Communes a réaménagé le seuil des grenettes, avec une échancrure de 12 m favorisant un chenal préférentiel. L'échancrure a été complétée par la mise en place d'un ouvrage permettant le franchissement des engins agricoles.
- La même année, les buses ont été supprimées et un gué portant a été aménagé au fond du lit au niveau de l'ouvrage du golf.

L'achèvement des travaux de rétablissement de la continuité avec la suppression totale du gué de l'Aireau était programmé pour 2017. Le maître d'ouvrage s'est ensuite engagé, hors contrat, pour le maintien d'un franchissement à l'Aireau. L'ouvrage existant a été réouvert sur une section de 8 mètres en 2019.



Les grandes lignes du projet visé

Aucune intervention complémentaire n'est envisagée à ce jour pour ces bras.

Le suivi et l'évaluation des actions menées pour la restauration du caractère dynamique de ces bras et la reconquête des habitats et espèces seront faits.

Projet : Boire du Cellier

Localisation : Département de Loire-Atlantique - Commune du Cellier

Maître d'ouvrage : Commune du Cellier

Contact : Guy Gauduchon

Présentation et historique

Des relevés topographiques ont été réalisés en 2012 dans le cadre du CRE Annexes de Loire. Trois zones formant des obstacles à la continuité hydraulique et sédimentaire ont été repérées. Ces ouvrages ont progressivement engendré un comblement de la boire et une végétalisation des atterrissements.

La restauration de la dynamique hydrosédimentaire prévoyait d'intervenir sur chacun des seuils et de gérer la végétation dans le lit.

Les deux franchissements ont pu être rabaissés en 2016 et un chenal a été remodelé au niveau d'un dépôt de sable apporté par un ruisseau (zone maraichère).

Des actions de gestion de la végétation ont également été réalisées par VNF en 2016.

Concernant ces apports de sable importants, un PADAM est en cours de mise en œuvre mais à ce jour, de nouveaux apports sont toujours observés et impactent les résultats attendus de la restauration du bras.

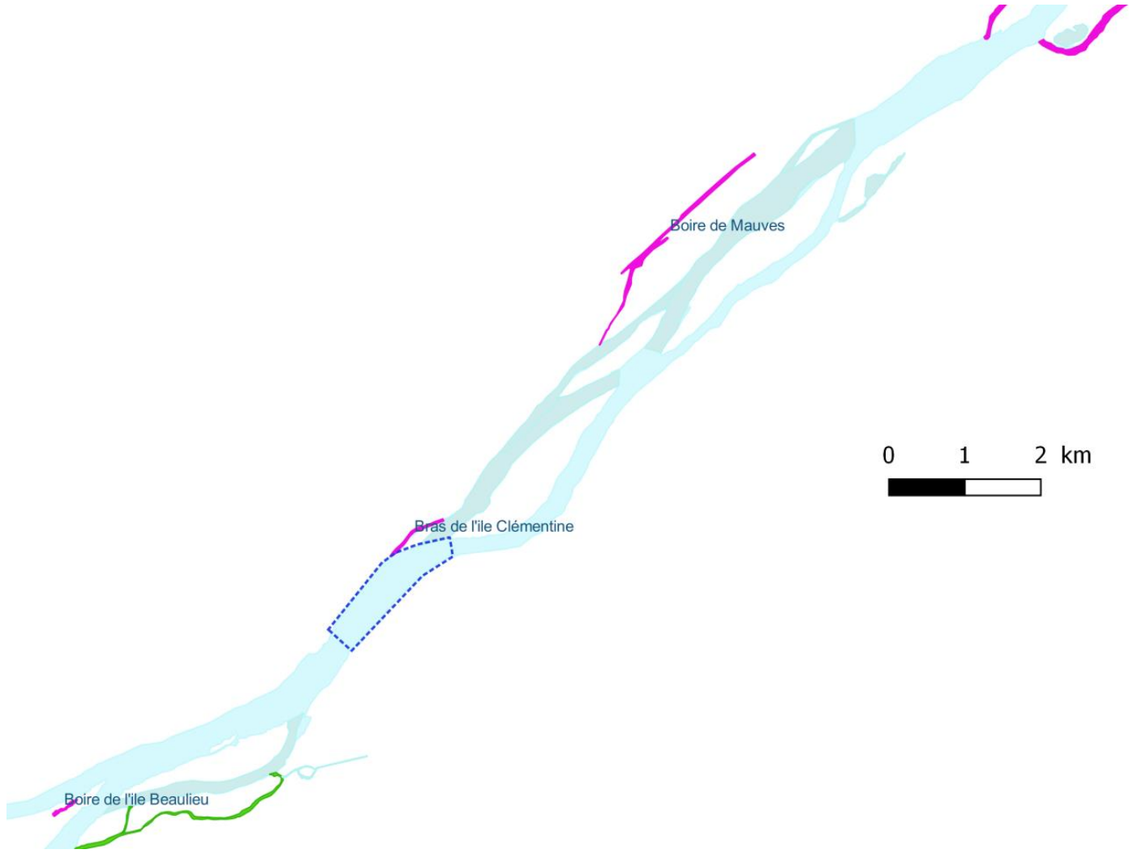
Les grandes lignes du projet visé

Suite aux actions de restauration déjà menées, il apparait important de :

- Suivre l'évolution du site post-restauration
- Assurer un entretien afin de garantir la capacité de remodelage d'un lit d'étiage
- Effectuer un bilan de la remobilisation du sable issu du plateau maraîcher et envisager au besoin une action complémentaire dans le cadre du CLA ou une mesure de remise en état par le maraîcher (procédure en cours)
- Participer à la définition des actions d'entretien de la végétation menées par VNF, la commune et les associations locales.

De plus, un remodelage potentiel des épis à l'amont et à l'aval du bras sera à l'étude lors de la phase 2 du programme de rééquilibrage du lit de la Loire.

Projets sous influence direct du projet du secteur C – Bellevue, du programme de rééquilibrage du lit principal



Secteur de rééquilibrage du lit principal

Annexes fluviales – projet 2018-2020

Annexes fluviales – suivis post-restauration/évaluation globale

Projet : Boire de Mauves (en lien avec le secteur C du lit principal)

Localisation : Département de Loire-Atlantique - Commune de Thouaré-sur-Loire

Maître d'ouvrage : Fédération de Loire Atlantique pout la pêche et la protection du milieu aquatique

Contacts : Vincent Mouren et Cédric Titeux

Présentation et historique

Des levés topographiques et des inventaires ont été réalisés en 2016. La connaissance du territoire a permis à la fédération de pêche de cibler un secteur en particulier (2 000 ml, secteur aval) présentant des dysfonctionnements mineurs, où des travaux devaient permettre de retrouver un hydrosystème dynamique et fonctionnel.

Plusieurs actions ont été mises en œuvre en 2018 :

- Restauration de la ripisylve : abattage de 25 peupliers hybrides
- Entretien de la végétation arbustive dans une mégaphorbiaie (enjeux frayère)
- Rétablissement de la continuité entre la boire et une zone humide latérale en ouvrant un ancien merlon de curage et en retirant un embâcle.

La restauration de cette boire a eu pour but de valoriser son potentiel écologique dans l'accueil d'une faune et d'une flore typique de ces milieux et ainsi de retrouver une mosaïque d'habitats et un écosystème viable.

Les grandes lignes du projet visé

Aucune action complémentaire n'est envisagée à ce jour. Les suivis et l'évaluation des actions menées sont en cours.

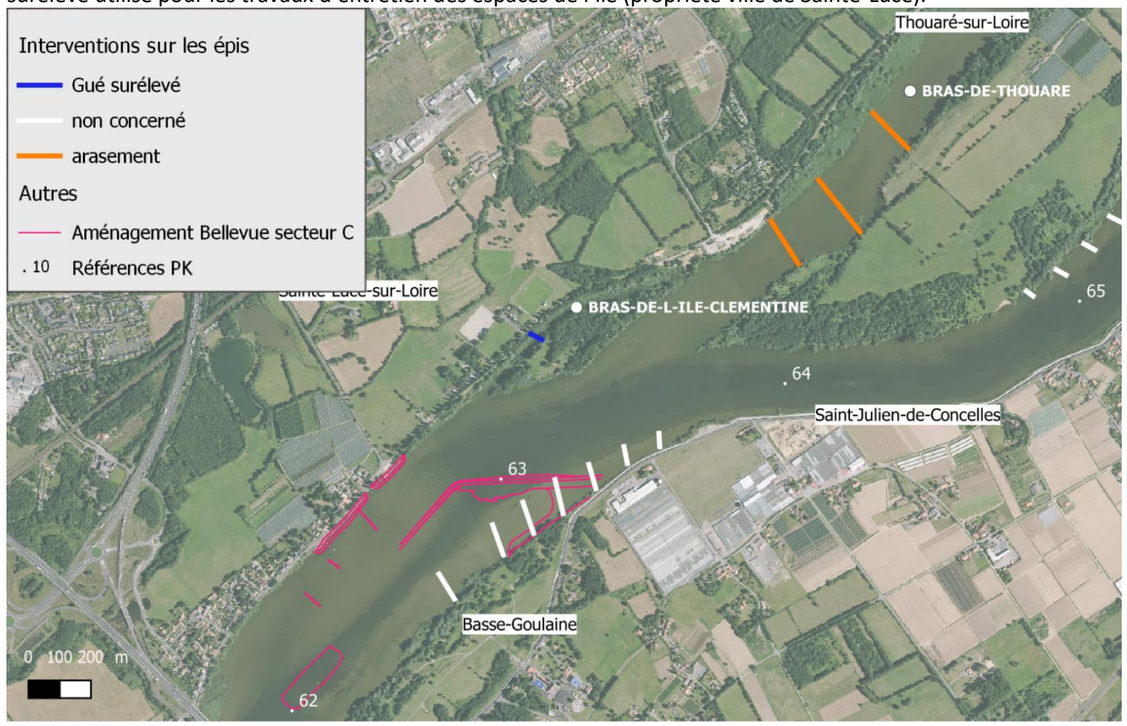
Projet : Bras de l'île Clémentine (en lien avec le secteur C du lit principal)

Localisation : Département de Loire-Atlantique - Commune de Sainte-Luce-sur-Loire

Maître d'ouvrage : Commune de Sainte-Luce-sur-Loire et Voies navigables de France

Présentation et historique

Ce bras est situé dans l'aire d'étude immédiate du secteur C du programme de rééquilibrage ; il est directement lié au projet de Bellevue. Il est aujourd'hui contraint par la présence d'un ouvrage de franchissement de type gué surélevé utilisé pour les travaux d'entretien des espaces de l'île (propriété ville de Sainte-Luce).



Les grandes lignes du projet visé

Les grands enjeux pour ce bras sont de :

- Préserver et favoriser la diversité des habitats ;
- Concilier le rehaussement de la ligne d'eau d'étiage, le rétablissement de la continuité du bras et l'enjeu de maintien des activités adaptées sur l'île (accès), notamment vis-à-vis du passage à gué.

Le projet est en cours de définition.

Rappel des actions prévues dans le cadre du programme de rééquilibrage du lit de la Loire :

La création de l'ouvrage de Bellevue dans le cadre du programme de rééquilibrage du lit de la Loire engendrera une rehausse de la ligne d'eau d'étiage basse mer jusqu'à 15 km en amont. Le bras de l'île Clémentine, de par sa localisation, bénéficiera directement de cette rehausse et ce, dès la construction de l'ouvrage.

Projet : Boire de Beaulieu

Localisation : Département de Loire-Atlantique - Ville de Nantes

Maître d'ouvrage : Ville de Nantes

Présentation et historique

Déjà inscrite et repérée dans le CRE Loire estuarienne amont, cette relique de boire est en cours d'étude. Cette boire est aujourd'hui reliée à la Loire grâce à une buse et soumise au marnage. Elle subit aussi des entrées de vase en période de bouchon vaseux ce qui a accéléré son comblement. Le comblement est aussi favorisé par la présence de la Jussie sur l'ensemble du site.

La ville de Nantes a mené une étude de faisabilité pour la restauration de cette boire. Un bureau d'études a proposé au maître d'ouvrage différents scénarios réalistes entre les enjeux techniques, environnementaux, économiques et réglementaires.

Les grandes lignes du projet visé

Le projet est reporté.

5. Méthode d'évaluation globale des actions de restauration

Afin d'évaluer les effets des projets de manière globale et cohérente à l'échelle du secteur d'intervention (de Montsoreau à Nantes), un dispositif d'évaluation du Contrat pour la Loire et ses Annexes a été élaboré par le GIP Loire Estuaire, en collaboration avec le Conservatoire des Espaces Naturels des Pays-de-la-Loire, englobant aussi bien les actions comprises dans le programme de rééquilibrage du lit de la Loire que les opérations complémentaires de restauration d'annexes fluviales.

Ce dispositif a pour objectif de mutualiser les acquisitions de données et le partage des résultats d'analyse. Aux côtés du GIPLE, du CEN PDL et de VNF, interviennent l'Université de Tours (projet RTemus et programme ARD), les Fédérations de pêche, les services de l'état (DREAL) ; le CBNB, la LPO, et divers autres organismes et associations. Un système de veille associant les usagers est également mis en place (navigation, pêche).

Les différents indicateurs sont organisés de manière transversale et systémique afin de pouvoir obtenir une vision globale tout en permettant de concentrer par ailleurs l'analyse sur des thématiques ou des géographies spécifiques (physique ou vivant, bras principal ou annexes hydrauliques, surfaces émergées ou immergées, etc.).

Les effets des opérations conduites dans le cadre du CLA concernent cinq grandes thématiques :

- Thème 1 - PROCESSUS HYDROSEDIMENTAIRES
- Thème 2 - PROCESSUS HYDRODYNAMIQUES
- Thème 3 – DYNAMIQUE DES HABITATS ET DES ESPECES : FLORE
- Thème 4 - DYNAMIQUE DES HABITATS ET DES ESPECES : FAUNE
- Thème 5 – QUALITE DES EAUX, USAGES ET PAYSAGES

Le détail des indicateurs du programme de suivi est à retrouver dans le livrable Mesures ERC et synthèse des effets.

6. Calendrier prévisionnel et réalisations des actions de restauration du CLA

Le calendrier prévisionnel et l'avancement des projets pour 2019-2020 (et perspectives post-2020) sont :

Désignation des actions	**Maîtres d'ouvrage**	**Calendrier prévisionnel et réalisations**	
Annexes concernées		**2019**	**2020 et post-2020**
Boire du Chapeau	Communauté d'Agglomération Saumur Val de Loire	Etudes	Travaux (2020)
Boires de Bénacle - Parnay		Etudes	Travaux (2020)
Boires Dampierre		Etudes	Travaux (2020)
Boire de Gennes	Fédération de pêche 49		Etudes reportées
Boire du Rateau	Commune Loire-Authion	Suivis/évaluation des travaux réalisés en 2017	
Boire de Gohier ou Petite Loire	Fédération de pêche 49	Etudes	
Louet et Bois rond / Bras du Trébusson-Hardas	Syndicat Layon Aubance Louets	Etudes	
ZH du Bosquet (Louet)	Fédération de pêche 49		Etudes reportées
Grand et Petit canal de Savennières	Commune de Savennières	Suivis/évaluation des travaux réalisés en 2015	
Boire de Champtocé	Syndicat mixte des Basses Vallées Angevines et de la Romme	Suivis/évaluation des travaux réalisés entre 2016 et 2018	
Boire Torse	Communauté de Communes du Pays d'Ancenis - COMPA	Etudes (travaux reportés), suivis/évaluation	
Bras des Babins	Voies navigables de France		Etudes Travaux prog de rééquilibrage 2022-2023
Bras du Bernardeau & du Chalais	Voies navigables de France	Etudes	Travaux prog rééquilibrage 2022-2023
Bras des Vinettes	Conseil Départemental 44 + Voies navigables de France	Etudes	Travaux berges/ripisylve (2020) - Travaux prog rééquilibrage 2022-2023
Bras de l'île Delage	Voies navigables de France	Evaluation des travaux réalisés en 2015	Travaux prog de rééquilibrage 2022-2023
Bras des Brevets	Voies navigables de France	Etudes	Travaux prog de rééquilibrage 2022-2023
Bras de la Pierre de Drain	SMIB Evre Thau Saint Denis + Voies navigables de France	Etudes	Travaux reportés post-2020
Boires de Drain	SMIB Evre Thau St Denis		Travaux reportés post-2020
Boire de la Patache et ZH de la Grande Prée	SMIB Evre Thau St Denis	Etudes	Enjeux de conservation sans nécessité de travaux
Boires de la Varenne	Mauges Communauté + Voies navigables de France	Suivis/évaluation des travaux réalisés en 2015 et 2019 (hors CLA)	
Boire du Cellier	Commune du Cellier	suivis/évaluation des travaux 2016	
Boire de Mauves	Fédération de pêche 44	Suivis/évaluation des travaux réalisés en 2018	
Bras de l'île Clémentine	Commune de Sainte-Luce sur Loire + Voies navigables de France	Etudes	
Boire de Beaulieu	Ville de Nantes	Reporté	

Suites post-2020

Le programme de rééquilibrage du lit principal mené par VNF fera l'objet de suivis et des actions complémentaires pourront en découler. La première phase du programme sera ainsi évaluée et, compte tenu des résultats, une seconde phase pourra être examinée conformément à la stratégie globale pour la Loire définie en 2015 par le GIP LE.

Au niveau des annexes fluviales, des projets potentiels sont d'ores et déjà pré-identifiés pour une éventuelle contractualisation post-2020. Les enjeux de ces projets seront précisés et débattus (Comités techniques) pour une éventuelle prise en compte ultérieure.

Les annexes fluviales concernées sont :

- La boire de la Bridonnière, liée aux annexes fluviales de la Varenne
- Le bras du Fossé Véron (annexe du Louet)
- L'ensemble des zones humides de la boire de St Maurille (annexe du Louet)
- Le Bras de la Guesse (lien avec le Marais de Chateaupanne)
- Les boires du Marillais
- Le bras de l'île Monty
- Le bras de la Sauterelle
- Le bras de l'île Ripoche