

Affaire : 113170

DDEA 49

Restauration du lit de la Loire à Sainte-Gemmes-sur-Loire en Maine-et-Loire

Etude d'opportunité

Juillet 2009



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



ministère
des Transports
de l'Équipement
du Tourisme
et de la Mer

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaires
1	Mars 2008	version provisoire (pour avis) fournie sous format informatique seulement
2	Juillet 2008	version complète
3	juillet 2009	Version complétée suite à l'avis émis par le comité restreint d'instruction technique DIREN Centre / AITL

Affaire suivie par

Jean-Claude JOUANNEAU – LRPC de Blois - Département Environnement – Unité « Cours d'Eau »

Tél. : 02 54 55 49 42 – fax : 02 54 55 48 71

Mél : jean-claude.jouanneau@developpement-durable.gouv.fr

Gwen GLAZIOU - LRPC de Blois - Département Environnement – Unité « Cours d'Eau »

Tél. : 02 54 55 49 44 – fax : 02 54 55 48 71

Mél : gwen.glaziou@developpement-durable.gouv.fr

Marc LIVET – LRPC de Clermont-Ferrand

Martine GAULLIER - LRPC de Blois - Département Environnement – Unité « Cours d'Eau »

Destinataires

DDEA 49 : (3 ex)

AITL (1 ex)

Département « Sciences de l'Environnement » (1 ex)

Secrétariat (1 ex)

Copie Centre de Gestion 4 / 68 – Affaire 113170

Sommaire

<u>I. Présentation de l'étude.....</u>	<u>5</u>
<u>II. Présentation de l'état actuel du site.....</u>	<u>7</u>
II-1 – Réseau hydrographique.....	7
II-2 - Ouvrages rencontrés.....	9
<u>III. Historique et évolutions de la Loire.....</u>	<u>15</u>
III-1 – De la période romaine au Moyen – Age.....	15
III-2 – Du XVI ème au XVII ème siècle.....	16
III-3 – XVIII ème siècle	17
III-4 – XIX ème siècle.....	19
III-5 – XX ème et XXI ème siècle.....	21
III-5 – Conclusions sur l'évolution globale de la Loire.....	24
<u>IV. Contexte morphologique de la Loire aval.....</u>	<u>24</u>
<u>V. Analyse de l'évolution des lignes d'eau d'étiage.....</u>	<u>25</u>
V-1 – Etude du SHC du bassin de la Loire de 1980 actualisée en 1987.....	25
V-2 – Données du GIP Loire-Estuaire et du SMN.....	26
V-3 – Conclusions.....	26
<u>VI. Analyse de l'évolution bathymétrique.....</u>	<u>26</u>
VI-1 – Recalage des données les plus anciennes.....	27
VI-2 – Analyse détaillée des profils.....	28
VI-3 – Bilan de l'analyse bathymétrique.....	31
<u>VII. Géologie et influence du substratum.....</u>	<u>36</u>
VII-1 – Contexte géologique du secteur	36
VII-2– Constats visuels.....	36
VII-3 – Etude des sondages et relevés topographiques.....	36
VII-4 – Conclusions.....	40
<u>VIII. Les enseignements des études et travaux passés.....</u>	<u>41</u>
<u>Les éléments techniques de travaux ont été repris ici pour compléter le travail mené par le LRPC de Blois et confirmer certains aspects importants du diagnostic.....</u>	<u>41</u>
VIII-1 Evolution des bras jusqu'à aujourd'hui (LCHF/SOGREAH années 1980-1990).....	41
VIII.2. Influence du substratum et moyens techniques d'y remédier (SMN , LCHF/SOGREAH).....	42
VIII.3. Retour d'expérience sur les travaux de terrassement de 1994-1999, (SCE, 2001).....	45
<u>IX. Informations complémentaires tirées du suivi du chenal de navigation.....</u>	<u>47</u>
IX-1 – Historique	47
IX -2 – Travaux réalisés pour la navigation.....	49
<u>X. Informations complémentaires tirées de la construction du canal de l'Authion.....</u>	<u>49</u>
X-1 – Historique.....	49
X-2 – Conclusions.....	51
<u>XI. Conclusions.....</u>	<u>52</u>
XI-1 – Déroulement chronologique des phénomènes.....	52
XI-2 – Les causes de l'évolution du lit.....	52
XI-3 – Influence des gués.....	53
XI-4 – État du lit actuel.....	54
XI-5 – Evolution envisageable de la morphologie.....	54
XI-6 – Solutions.....	54

<u>L'ingénieur des TPE.....</u>	<u>56</u>
<u>L'ingénieur en hydrologie – bathymétrie</u>	<u>56</u>
<u>Responsable du Département Sciences de l'Environnement.....</u>	<u>56</u>
<u>XII. BIBLIOGRAPHIE.....</u>	<u>57</u>
<u>SERVICES CONSULTÉS.....</u>	<u>58</u>
<u>ANNEXES.....</u>	<u>59</u>

I. Présentation de l'étude

Au droit des communes de Ste-Gemmes-sur-Loire et des Ponts-de-Cé (49), la Loire se divise en 4 bras. A l'étiage, trois d'entre eux – le bras de Saint-Aubin, le bras de Sainte-Gemmes et le Louet – sont peu voire pas du tout mis en eau, le sable apparaît durant de longues périodes, la végétation y trouve des conditions propices de développement favorables et les eaux de l'Authion qui y confluent avec la Loire en rive droite peinent à se mêler celles de la Loire à l'étiage.

La commune de Sainte-Gemmes-sur-Loire située le long d'un des bras secondaires s'inquiète de cette situation. Ancien port de Loire jusqu'au 19e siècle, elle se retrouve aujourd'hui « privée » des eaux du fleuve une grande partie de l'année, accusant un "ensablement" de son bras.

Le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Blois a été mandaté par la Direction Départementale de l'Equipement du Maine-et-Loire (DDE 49), sous la tutelle technique de l'Arrondissement Interdépartemental des Travaux de la Loire (AITL, DDE45), pour effectuer une étude hydromorphologique du lit de la Loire à Sainte-Gemmes-sur-Loire dans le Maine-et-Loire.

L'étude réalisée par le LRPC de Blois est une étude de dynamique fluviale qui a pour objectifs de :

- dresser une analyse des évolutions passées de la morphologie du lit ;
- définir les tendances d'évolution future ;
- esquisser des pistes d'aménagement visant à réactiver le bras de Sainte-Gemmes.

Il s'agit d'une étude d'"opportunité" apportant les éléments techniques pour juger de la pertinence d'une intervention sur le lit.

Sur la base de documents d'archives, de photos aériennes, d'évolutions des lignes d'eau d'étiage au cours du 20e siècle, de données bathymétriques et géotechniques, un diagnostic hydromorphologique de la situation actuelle a été dressé, tentant d'expliquer les évolutions passées qui y ont conduit.

Pour cela, les archives retrouvées dans les différents services (Etat, Département et Communes) ont été analysées. Nous tenons d'ailleurs à remercier pour leur compétence et leur dévouement les services suivants :

le Conseil Général et en particulier la direction des routes et des déplacements;

les Archives Départementales du Maine et Loire

la Direction départementale de l'Equipement du Maine et Loire ;

le service Transports et Navigation à la Direction Départementale de l'Equipement de Loire Atlantique (ancien SMN) ;

l'Arrondissement Interdépartemental des Travaux de Loire (AITL) à la Direction Départementale de l'Equipement du Loiret ;

la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) Centre ;

le Groupement d'Intérêt Public (GIP) Loire Estuaire ;

la Société d'Equipement du Département de Maine et Loire (SODEMEL) et le personnel de l'usine de captage des eaux en Loire ;

le Laboratoire Régional des Ponts-et-Chaussée d'Angers;

la mairie des Ponts-de-Cé

la mairie de Ste Gemmes ;

le Conservatoire Régional des rives de la Loire et de ses affluents (CORELA) ;

la société ARCADIS (qui réalise l'étude de l'A87) ;

l'Institut Géographique National (IGN) ;

et tous les riverains qui ont bien voulu répondre à nos questions.

En octobre et novembre 2007, le LRPC de Blois a également réalisé une campagne de levés bathymétriques sur le secteur (profils en long et en travers) pour mieux comprendre la situation et le fonctionnement actuel du site.

Pour s'assurer d'une vision globale du site, le secteur étudié englobe le bras de Sainte-Gemmes et est long de 10 kilomètres. De l'aval vers l'amont, il débute 200 m à l'amont de la confluence de la Maine et s'étend jusqu'à 600 m à l'amont de « l'île Gemmes » (anciennement dite « île de Juigné »). La figure1 donne un plan de situation du secteur d'étude.

Nota : pour plus de facilité, les points particuliers sur la Loire seront repérés à l'aide de leur PK, le PK 0 étant situé à la confluence Loire – Maine et le décompte des distances s'effectuant d'aval en amont en suivant l'axe du bras principal de la Loire. Les altitudes sont exprimées dans le système IGN NGF 69.

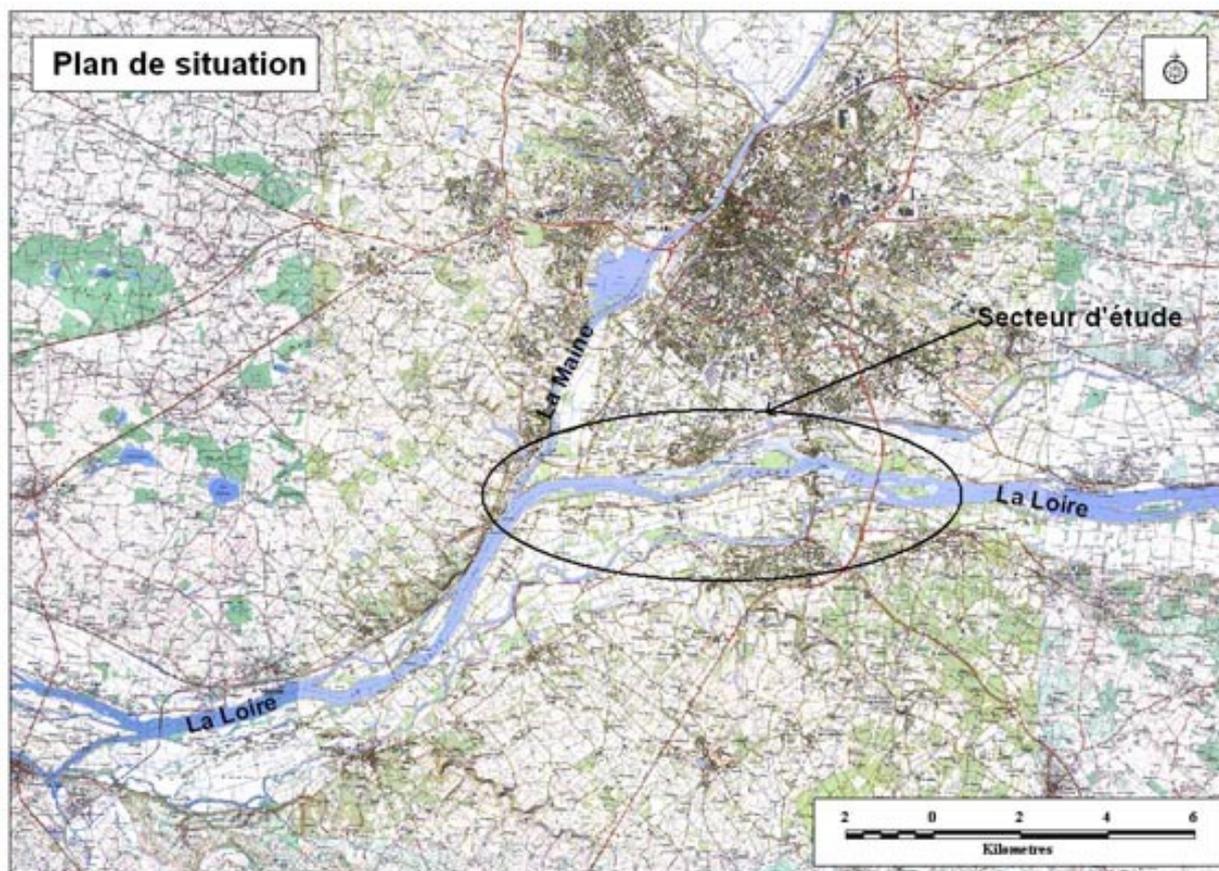


Figure 1. plan de situation du secteur d'étude

II. Présentation de l'état actuel du site

Ce chapitre a pour objectif de décrire le secteur d'étude tel qu'il est aujourd'hui, de définir les noms et repères qui serviront dans la suite du rapport.

II-1 – Réseau hydrographique

Le système hydraulique est complexe car très ramifié et son équilibre est fragile.

Par souci de clarté, il est décrit ci-dessous en distinguant les confluences et diffluences observées sachant que :

- le secteur 1 est le cours principal de la Loire (portion du lit en eau recevant le débit maximum). C'est en suivant l'axe de ce cours principal que les PK ont été définis ;
- le secteur 2 est le bras « St-Aubin », premier bras secondaire en rive droite ;
- le secteur 3 est le bras de « Ste-Gemmes », second bras secondaire en rive droite.

La délimitation de ces 3 secteurs est proposée sur le plan ci-après en figure 2.

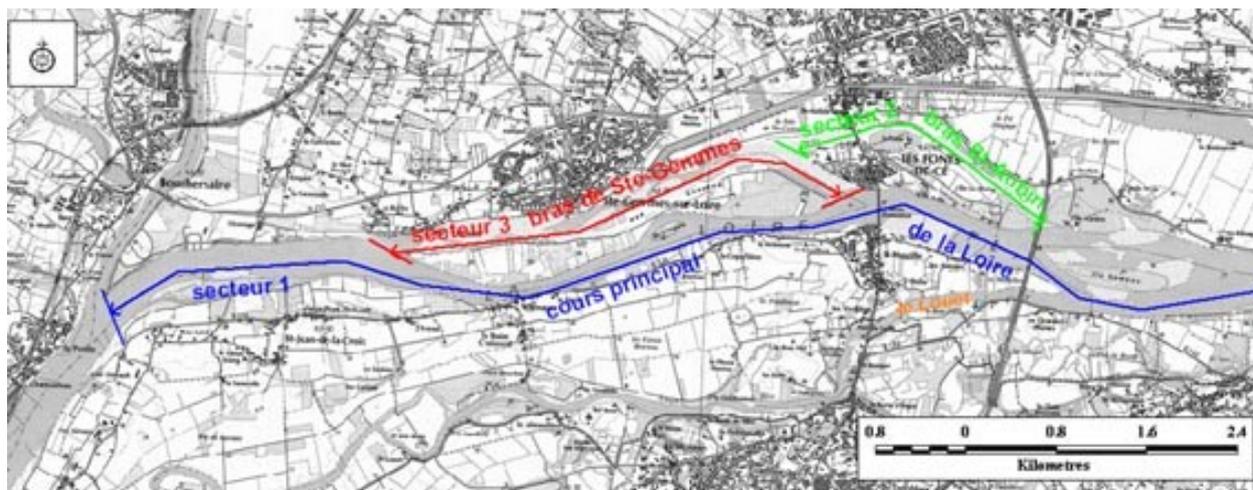


Figure 2. sectorisation du site d'étude

Le positionnement des Points Kilométriques (PK) est indiqué sur un plan en annexe 1. Les explications ci-dessous s'y réfèrent.

II-1-1 sur le bras principal de la Loire (secteur 1)

Depuis l'amont vers l'aval, on rencontre

- au PK 9800, « l'île Gemmes » longue de 1 kilomètre qui sépare la Loire en deux bras. Même s'ils sont d'égale largeur, ils jouent un rôle hydraulique très différent. A l'étiage, le bras rive droite est presque à sec et seul y coule un mince filet d'eau tandis que le bras rive gauche absorbe tout le débit de la Loire avec un courant assez fort ;
- au PK 8900 en rive gauche, la diffifluence du Louet, bras de Loire qui rejoint le fleuve 25 kilomètres en aval après avoir irrigué ou drainé, suivant les cas, toute la vallée rive gauche de la Loire. A l'entonnement du Louet, un vestige de seuil artificiel (dit « chaussée de Aireaux, voir chapitre II-2-1 et III-1) limite, à l'étiage, la hauteur d'eau entrante et maintient un courant très marqué ;
- au PK 8400 en rive droite, une diffifluence dite « bras St-Aubin » qui se jette dans le « bras de Ste-Gemmes » 2,6 kilomètres en aval. Ce bras est déconnecté du fleuve à l'étiage et parsemé de flaques d'eau stagnante ;
- au PK 6650, l'amont de l'« île aux Chevaux » (île longue de 3,9 kilomètres) qui est l'origine de la diffifluence du « bras de Ste-Gemmes » en rive droite qui rejoint le bras principal de Loire 4 kilomètres en aval. A l'étiage, le « bras de Sainte-Gemmes » est presque déconnecté de la Loire et seul y coule un mince filet d'eau tandis qu'en rive gauche, le « bras Saint-Jean », bras principal, absorbe lui presque tout le débit de la Loire et le courant y est relativement fort ;
- vers le PK 5300, dans ce bras de « Saint-Jean », la Loire crée une encoche dans « l'île aux Chevaux » qui est à cet endroit la plus étroite ; un îlot dit « île Courgain » s'est logé dans l'encoche ainsi formée ;
- le PK 2800 correspond à la fin de la ramification à l'aval de « l'île aux Chevaux » où a lieu la confluence du « bras de Ste-Gemmes » dans le bras principal ;
- le PK 0 est situé à la confluence de la Loire et de la Maine. On peut noter qu'au niveau de cette extrémité aval, le Louet n'a pas encore rejoint la Loire : le secteur d'étude n'est donc pas un système fermé hydrauliquement parlant.

II-1-2 sur « le bras St Aubin » (secteur 2)

C'est un bras de 2,6 kilomètres de long qui est déconnecté de la Loire à l'étiage. Depuis sa diffifluence au PK 8400 de la Loire, on rencontre de l'amont vers l'aval :

- au droit du PK 7200 de la Loire, le rejet de la station d'exhaure de l'Authion qui fonctionne quand l'Authion est en crue. La mise en service de la station date de 1974 ;
- au droit du PK 6000 de la Loire, la confluence du « bras St-Aubin » dans le « bras de Ste Gemmes ».

II-1-3 sur « le bras de Ste Gemmes » (secteur 3)

C'est un bras de 4,2 kilomètres de long dans lequel transite un très faible débit à l'étiage ; le fond est sableux ou rocheux. Depuis sa diffluence au PK 6650 de la Loire, on rencontre de l'amont vers l'aval :

- au droit du PK 6000 de la Loire, le « bras St-Aubin » qui vient se jeter dans le « bras de Sainte-Gemmes »;
- vers le PK 5550 de la Loire, un affleurement rocheux dit « Rocher du Grand Jard » (déjà repéré sur la carte de Cassini) qui empiète sur les 2/3 de la largeur du bras ;
- au PK 5200 de la Loire, le rejet de l'Authion dans le « bras de Ste-Gemmes ». L'Authion est une rivière de 63 kilomètres environ, plus ou moins canalisée, qui draine ou irrigue le val rive droite de la Loire depuis Saint-Nicolas-de-Bourgueil en Indre-et Loire. Ce rejet, peu important en fin d'été, est régulé par un vannage situé 2 km en amont de la confluence.
- au PK 2800 de la Loire, la confluence du « bras de Ste-Gemmes » dans le bras principal de la Loire.

II-2 - Ouvrages rencontrés

Les ouvrages rencontrés sur le cours de la Loire dans le secteur d'étude sont répertoriés de l'amont vers l'aval, toujours référencés par les PK définis dans l'axe du cours principal défini plus haut. Leur positionnement est illustré sur un plan en annexe 2.

II-2-1 Chaussée des Aireaux



Figure 3. Seuil rocheux artificiel dit « Chaussée des Aireaux » en novembre 2007

Située à l'amont de l'avant-bec de la diffluence du Louet, vers le PK 8900, il existe une chaussée, visible en étiage, d'environ 6 m de large contenue entre 2 murs d'ardoise. Certains considèrent cette chaussée comme une ancienne voie romaine ; d'autres comme un ancien duit qui détournait le courant du Louet et du bras rive gauche de la Loire vers les moulins qui étaient construits sur l'ancien pont situé 80 m en aval du pont Dumnacus. Elle est appelée « Chaussée des Aireaux » (figure 3).

Ce système constitue un seuil d'entrée pour le Louet avec un faible tirant d'eau à l'étiage et un abaissement de la ligne d'eau serait très préjudiciable à l'alimentation de ce bras.

II-2-2 Pont de la RN 260 devenue A87

Ce pont, situé juste à la diffluence du bras St-Aubin au PK 8450 de la Loire, a été construit en 1977. Il a 9 piles (5 piles en Loire et 2 dans le Louet). La culée rive droite est située en rive de la Loire, et la 1ère pile rive droite se trouve à l'extrémité rive gauche de la diffluence du bras St-Aubin, gênant l'entonnement de l'eau dans ce bras et créant une forte érosion du nez de l'île ainsi que des embâcles importantes au pied de la pile (figure 5).

En novembre 2007, à l'étiage, la présence d'une large grève de sable recouvre les fondations des 3 piles situées le plus en rive droite de la Loire ; seules 2 piles sont dans l'eau. Les 2 piles rive gauche, implantées dans le Louet, sont également dans l'eau.

Autour de la pile 4 (comptée depuis la rive droite) on constate la présence au dessus du niveau d'eau d'une enceinte en béton (figure 4), ce qui laisse supposer que le fond de la Loire était au moins à cette altitude au moment de la construction du pont.

Actuellement, une étude est en cours pour le doublement de ce pont par la société ASF (Autoroute du Sud de la France) pour le passage de l'A87 en 2x3 voies. Un ouvrage identique sera construit immédiatement à l'aval du 1^{er}.



Figure 4. Au 1er plan : pile 4 du pont de la RN 26 ; au second plan piles du pont SNCF ; en arrière plan pont Dumnacus (novembre 2007)



Figure 5. Embâcle (septembre 2007) contre la 1ere pile rive droite encombrant l'entrée du bras Saint-Aubin

II-2-3 Ancien pont de Chemin de Fer

Ce pont, situé au PK 8150 de la Loire, a été construit vers 1876. La ligne a été abandonnée en 1951 et il ne reste plus que les piles en plus ou moins mauvais état (figure 6).

La pile située dans le bras St-Aubin a été supprimée en 1995. Parmi les piles subsistant en Loire celle située en rive droite est effondrée et les matériaux sont restés en place. Les autres piles présentent des enfoncements différentiels qui indiquent la présence d'une épaisseur importante de sable mobile.



Figure 6. rangée de pieux et pile rive gauche du pont SNCF (novembre 2007)

II-2-4 L'usine d'alimentation en eau potable en rive droite et ses 3 épis en rive gauche

Les premiers captages d'eaux en Loire pour les besoins d'alimentation de la ville d'Angers datent du XIX^{ème} siècle. Actuellement, les puits s'étendent du PK 8100 au PK 7200 en rive droite du bras principal de la Loire. Ce sont essentiellement des puits drainant la nappe alluviale, mais il existe également une prise d'eau directe en Loire au droit de l'usine.

Ces ouvrages ont été créés à différentes périodes en fonction des besoins. Les travaux les plus importants datent de 1951-1952 avec le rescindement de la rive droite pour l'implantation de 4 captages et la construction de 3 épis en rive gauche du bras principal de la Loire entre les PK 8000 et 7400. Ces épis ont été construits pour permettre la chenalisation de la rive droite afin de faciliter l'alimentation en toute saison des captages. Leur construction a été motivée par la présence d'une grève pérenne au droit des captages mentionnée à partir des années 30 et surtout dans les années 40 comme handicapante pour les captages (figure 7).

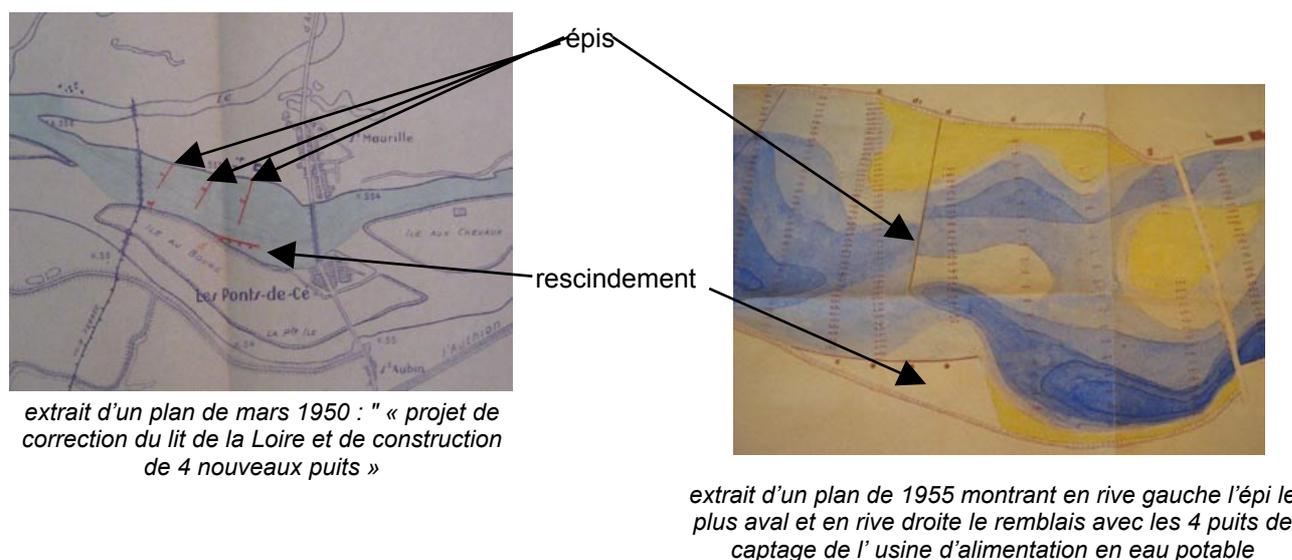


Figure 7. Extraits de plans retrouvés aux archives départementales du Maine et Loire

II-2-5 Pont Dumnacus et seuil dû à l'ancien pont

Pont Dumnacus (figure 8): long de 310 m, ce pont sur le bras principal de la Loire (anciennement dit pont de St-Maurille) fut construit au PK 7050 de 1847 à 1849. C'est un pont en maçonnerie constitué de 11 voûtes de 25 m d'ouverture et 10 piles de 3.50 m de large à la base (notées de 1 à 10 de la rive gauche vers la rive droite) en Loire. Les 2 culées se trouvent en limite du lit mineur.



Figure 8. Pont Dumnacus vu depuis le bras de Ste Gemmes (novembre 2007)

En 1940, le pont fut démolí de la pile 7 à la pile 9. Il fut reconstruit en 1942.

En 1944, il fut à nouveau démolí de la pile 4 à 5 et de la pile 7 à 9. La reconstruction complète, en béton, entre les piles 4 et 9 se déroulera de 1947 à 1949 et le pont retrouvera son aspect initial.

En 1981, 5 piles rive gauche (piles 5, 6, 7, 9 et 10) ont été confortées avec notamment un engagement en palplanches de 11 à 14 m de large jusqu'à environ 16.00 m d'altitude. Les 5 autres piles sont entourées d'enrochements (montés jusqu'à 2 à 2.50 m au dessus de l'étiage) sur 15 à 20 m de large

Il subsiste en rive droite quelques restes de l'aménagement d'un port : murs de quai et plate-forme perreyées, escaliers, descentes à bateaux...

Seuil dû à l'ancien pont : 80 m en aval du pont Dumnacus, il existait, sans doute depuis Vespasien (1^{er} siècle après J C), un ancien pont (ou plusieurs ponts qui se sont succédés au même emplacement). Cet ouvrage a été démolí de 1854 à 1856 ; les matériaux de démolition ont été mis en partie en rive droite de la Loire, dans l'alignement de la culée pour servir de fondation à un quai projeté. Les vestiges de ce pont forment un seuil à l'aval du pont Dumnacus. Ce seuil est visible nettement dès que les eaux de la Loire baissent et génèrent une chute d'eau d'autant plus importante que l'étiage est sévère (plusieurs dizaines de centimètres).

Il est à noter qu'il existait à l'origine une petite île dite « la Rabonière », située à 30 m de la rive gauche, sur laquelle était fondée une pile (figure 9). Les parties meubles de cette île ont disparues au cours des crues du XVII^{ème} siècle en mettant à nu le rocher, puis la pile et le rocher ont été rasés pour faciliter la navigation.

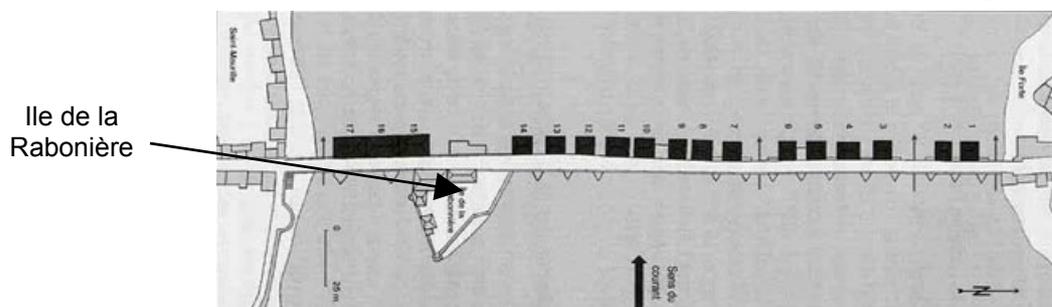


Figure 9. Le « Grand Pont » des Ponts de Cé au cours de la 1^{ère} moitié du XVII^{ème} siècle – conception et infographie Ch Cussoneau 2005 (Source : « Loire » édité par Associations : Confluences – Maison de Loire en Anjou)

Le système « pont + vestiges » constitue un seuil qui sépare deux secteurs à l'évolution morphologique fortement séparée.

II-2-6 pont de Verdun

Situé vers le PK 6850 de la Loire, ce pont qui permet de franchir le bras St-Aubin a été construit en même temps que le pont Dumnacus (entre 1847 et 1849), à l'emplacement de l'ancien pont existant.

C'est un pont en maçonnerie long de 82 m constitué de 3 voûtes de 25m d'ouverture et 2 piles de 3.50 m de large (notées de 1 à 2 de la rive gauche vers la rive droite) en Loire. Les 2 culées se trouvent en limite du lit mineur.

Un rapport de 1989 du LRPC d'Angers indique la présence des fondations des 6 piles de l'ancien pont : l'arase des fondations de 4 piles en rive droite est visible et la présence des fondation de 2 autres piles en rive gauche a été détectée par sondages.

II-2-7 conduites d'adduction d'eau potable

Un rapport de 2001 concernant l'évaluation des travaux de restauration et d'entretien dans le bras de St-Aubin et de Ste-Gemmes du Service Maritime et de la Navigation de Nantes indique la présence de 2 conduites importantes d'AEP (un Φ 800 implanté vers 1960 et un autre de Φ 1000 établi vers 1976) 100 m à l'aval du pont de Verdun. Ces conduites n'étant pas implantées suffisamment profondément, il a fallu les protéger par un chemisage en béton dont la partie supérieure se situerait à environ 15.60 m d'altitude (cf. le § 3-2.2.2 de ce rapport). Elles créeraient ainsi un point haut dans le bras St Aubin

Toutefois, ces conduites n'ont pu être observées en 2007 (sans doute situées sous le sable) et ne semblent pas avoir actuellement d'influence notable sur le profil en long du bras St Aubin

III-2-8 port de Ste-Gemmes

La navigation se faisait sur le bras de Ste-Gemmes au moins jusqu'au milieu du XIX^e siècle et un aménagement portuaire a été établi au droit de la ville de Ste-Gemmes (du PK 4200 au PK 3400 environ).

Les structures de ce port (quais, cales) reposent sur le substratum rocheux que l'on voit régulièrement affleurer à la base des quais.

II-2-9 épi sur le bras St Jean à l'aval de l'île aux Chevaux

Sur 160 m un alignement de pieux (figure 10) subsiste dans le bras St-Jean du PK 2650 (à 180 m de la rive gauche) au PK 2800 (à 100 m de la rive gauche). Ce sont les vestiges d'un ancien épi ou d'un système de barrage dit « barrage Audouin » (cf. plans qui dateraient des années 1920). Ils sont visibles sur le profil levé en travers de cet alignement. Un plan a été retrouvé aux archives départementales du Maine et Loire dans un dossier datant des années 1945 à 1950 ; il confirme la présence d'un épi de 450 m de long qui débutait au PK 3050 rive gauche, pour finir au PK 2650.



Figure 10. Vestiges du « barrage Audouin » visibles à l'étiage (vus depuis l'aval, novembre 2007)

Cet épi (ou barrage) contraignait le courant à aller en rive droite du bras St-Jean et obligeait l'écoulement à se diriger vers la rive droite de la Loire à l'aval de l'île aux Chevaux (figure 11). Il devait servir à la navigation en maintenant une continuité du chenal (profondeur assurée par la concentration des écoulements provoquée par l'épi) lors de la traversée du lit de la Loire entre ces deux bords.

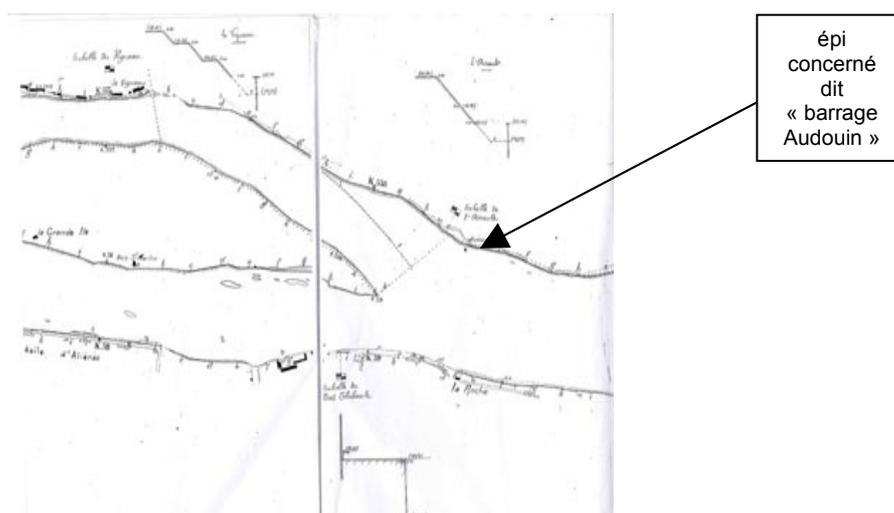


Figure 11. extrait d'un plan retrouvé aux archives départementales du Maine et Loire (plan non daté, date estimée début à mi XX^e ème siècle)

II-2-10 épis en rive gauche entre l'île aux Chevaux et le bec de Maine

Ces épis (figure 12) étaient destinés à contraindre le courant de la Loire à se diriger vers la rive droite. Aujourd'hui, ils ne sont plus visibles car ils se situent sous un énorme atterrissement sableux (résultat de leur action) qui s'est en partie végétalisé.

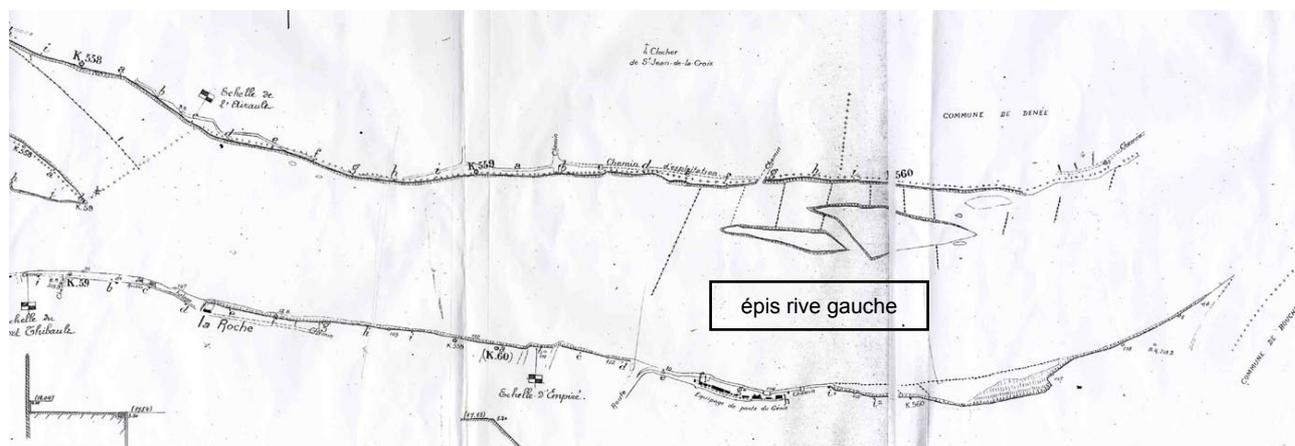


Figure 12. Extrait d'un plan retrouvé aux archives départementales du Maine et Loire (plan non daté, date estimée début à mi XX^{ème} siècle)

II-2-11 épis et autres ouvrages en aval du bec de Maine

Ces épis et ouvrages ont été construits entre 1904 et 1926 (figure 13. source : archives départementales 49, le secteur entre Bouchemaine et Montjean, c'est à dire le plus proche du site d'étude, ayant été le premier « équipé ») pour maintenir et approfondir le chenal nécessaire à la navigation. La réduction de la section d'écoulement, l'approfondissement qui en découle et les extractions d'alluvions qui ont été pratiquées au cours du XX^{ème} siècle pour maintenir une profondeur suffisante sont à l'origine de l'abaissement de la ligne d'eau constatée depuis un siècle (voir chapitre V).

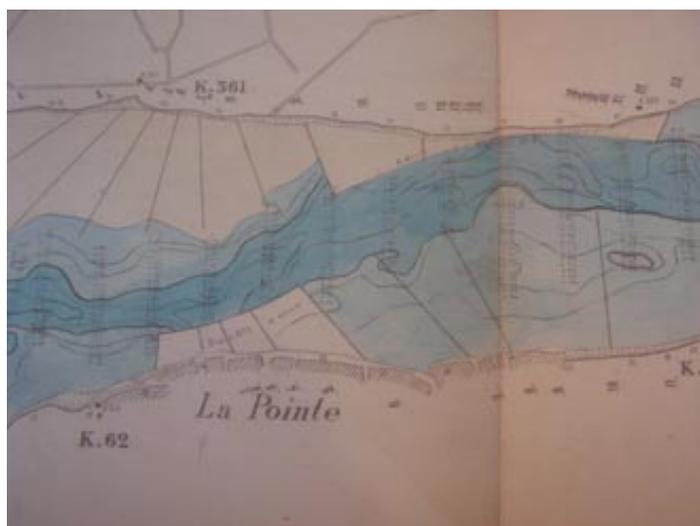


Figure 13. Extrait d'un « plan de sondages » du 31 juillet 1931 – épis et aménagement à l'aval immédiat du bec de Maine (source : archives départementales du Maine et Loire)

III. Historique et évolutions de la Loire

La documentation recueillie sur l'histoire du site, relative à la Loire, s'est révélée d'une grande richesse. La Loire en elle-même a beaucoup remodelé ses rives et ses îles, aidée en cela par les ouvrages réalisés par l'Homme. Les informations présentées ci-dessous constituent donc une sélection des informations jugées les plus pertinentes pour décrire les étapes successives qui ont abouti à la situation actuelle telle que présentée ci-dessus. Les documents cartographiques présentés dans ce paragraphe sont reproduits en plus grand format en annexe 3.

III-1 – De la période romaine au Moyen – Age

La Loire à cet endroit a toujours été séparée en plusieurs bras et îles. Ainsi, il était facile de franchir le fleuve d'abord à l'aide de gués, plus ou moins aménagés, puis grâce à des ponts, relativement faciles à construire vu l'étroiture des différents bras du fleuve. Sur ces ponts furent installés des moulins qui nécessitaient un écoulement suffisant pour pouvoir travailler et le fleuve fut aménagé en conséquence.

Ainsi, à l'amont de la diffluence du Louet, vers le PK 9000, il existe un seuil transversal, encore visible en étiage bien que fortement réduit et endommagé :

- certaines sources décrivent ce seuil comme une chaussée (« chaussée des Aireaux ») support d'une ancienne voie romaine (figure 14);



Figure 14. Diffluence du Louet – « Chaussée des Aireaux » novembre 2007

- d'autres pensent que ce serait un duit construit au XIII^{ème} siècle pour détourner le courant du Louet et du bras rive gauche de la Loire vers les moulins construits sur le pont du bras principal dit « Grand Pont ». Cet ouvrage aurait été accompagné d'un autre duit dit « Ductus Aquarum » long de 2000 m, partant de l'extrémité aval de l'île Gemmes pour rejoindre la rive gauche de l'île au bourg ; ce duit obligeait les eaux du bras rive droite de la Loire à passer sous le pont de St-Aubin (figure 15 et annexe 3).

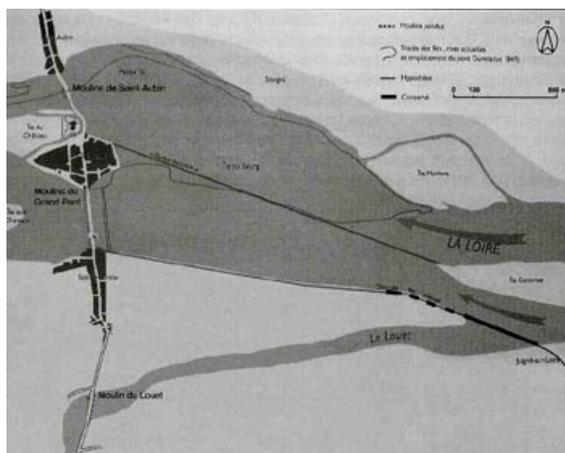


Figure 15. Emplacement des moulins et hypothèse de reconstitution des deux duits : « Chaussée des Aireaux » et le « Ductus Aquarum » (Source : Christian Cussoneau dans « Loire » édité par Associations : Confluences – Maison de Loire en Anjou)

De même sur l'île aux Chevaux au droit de l'île Courgain actuelle, il existerait une ancienne chaussée, dont, d'après un riverain, il resterait des vestiges encore visibles dans le petit bras de Loire séparant les deux îles. Cette ancienne chaussée était sans doute prolongée par un gué qui traversait le bras de Ste Gemmes et qui débouchait à « l'alambic » (amont de Port Thibault), vers le PK 3150.

III-2 – Du XVI^{ème} au XVII^{ème} siècle

III-2-1 au XVI^{ème} siècle

Il est signalé plusieurs fois dans la littérature, qu'au début du XVI^{ème} siècle l'île aux Chevaux était séparée en 2 îles (l'île aux Chevaux à l'amont et l'île St Martin à l'aval). Vers 1580, ces 2 îlots furent réunis en une seule île par des plantations (figure 16 et annexe 3).

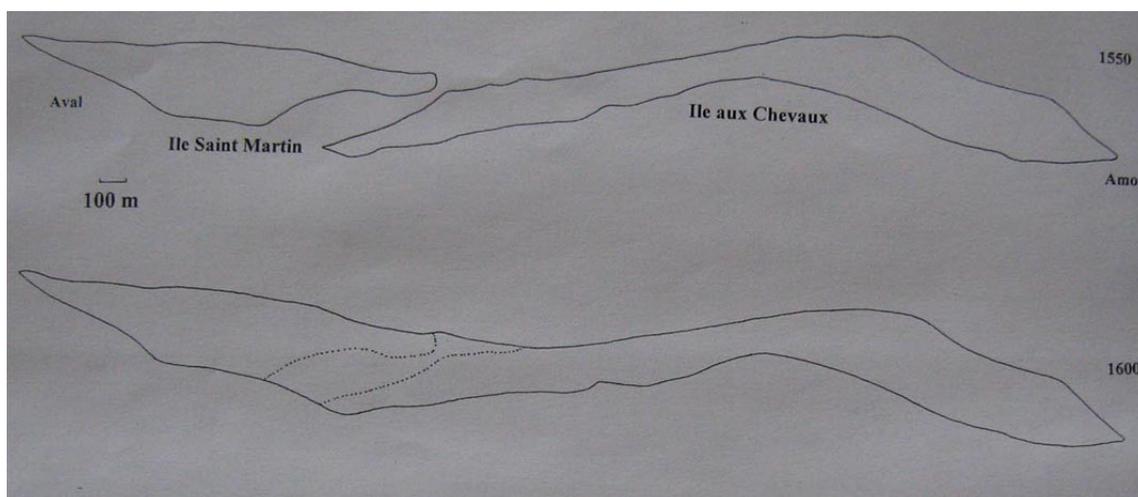


Figure 16. Extrait d'une synthèse de l'évolution de l'île aux Chevaux au cours du XVI^{ème} siècle (source : Cyril Drouet – Maitrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes – 1996)

III-2-2 Poictevin - 1684 :

La carte ci-dessous (figure 17 et annexe 3), donne une idée très approximative du cours de la Loire à la fin du XVII^{ème} siècle. A priori, tout le système d'îles n'existe pour ainsi dire pas ou est mal représenté.



Figure 17. Extrait d'une carte du cours de la Loire dans l'étendue des levées qui la retiennent et qui la borne depuis les Ponts de Cé en montant jusqu'à la ville de Gien. – Poictevin 1684 - (source : BNF sur Gallica)

III-3-2 Début XVIII^{ème}

Cette carte, vraisemblablement antérieure, à celle de Cassini bien que non précisément datée, est précise que celle de Cassini et montre bien la morphologie aux abords de l'île aux Chevaux et des bras de Loire de part et d'autre par cette île :

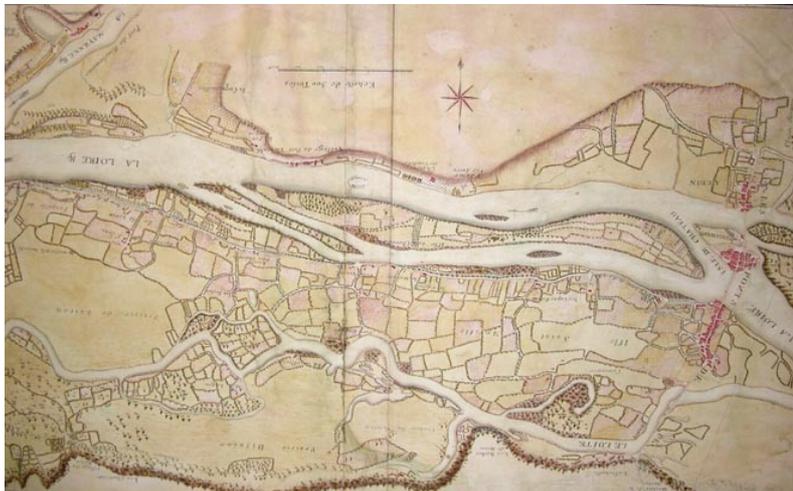


Figure 19. La Loire à l'aval des Ponts de Cé non datée, date estimée début XVIII^{ème} – la vue a été retournée pour une meilleure compréhension du secteur – (source : Conservatoire Régional des rives de la Loire et de ses affluents – document d'origine BNF)

Ainsi on observe (figure 19 et annexe 3) :

- la présence d'un îlot qui deviendra vraisemblablement l'île Courgain dans le bras rive gauche ;
- la présence d'une petite île qui deviendra « le Petit Buteau » dans le bras de Ste Gemmes ;
- l'existence de la longue île sans nom à l'aval de l'île aux Chevaux dans le bras rive gauche, qui ne s'est pas encore rattachée à la rive gauche de la Loire (idem Cassini) ;
- les îles au droit des ponts sont dans le même état que sur la carte de Cassini.

III-3-3 Carte estimée de 1755

Cette carte a été réalisée vers 1755 (estimation car la carte n'est pas datée précisément). La Loire n'y est représentée qu'à l'amont des Ponts de Cé (figure 20 et annexe 3).

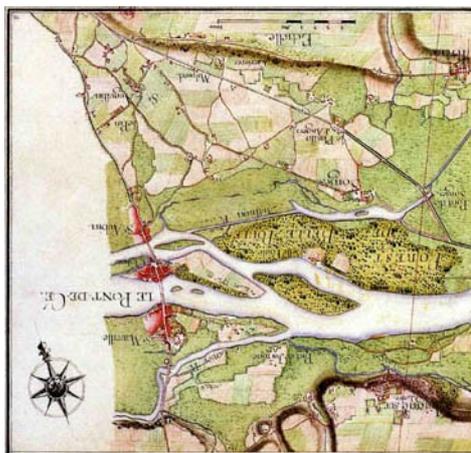


Figure 20. La Loire à l'amont des Ponts de Cé vue par Louis de Regemorte vers 1755 – la vue a été retournée pour une meilleure compréhension du secteur – (source : « portraits de Loire » édité par le Conservatoire Régional des rives de la Loire et de ses affluents – document d'origine BNF)

Contrairement à la carte de Cassini, on constate :

- le rattachement de « l'isle Merdière » à la rive droite du fleuve ou à l'île Gemmes ;
- le rattachement de « l'isle au Bourg » à l'île urbanisée des Ponts de Cé ;
- le bras St-Aubin commence à bien se dessiner.

Ces constats de simplification de la ramification du lit laissent penser que cette carte est postérieure à celle de Cassini. Les dates supposées indiquent cependant le contraire. Le travail effectué s'est contenté de cette incertitude sans chercher à trancher, ce qui relève d'un travail d'archiviste.

L'Authion a été canalisé dans sa partie aval (1^{er} canal dit des « Champs-Fleury », construit au cours du XVIII^{ème} siècle et comblé en 1832, lors de la mise en service du canal actuel¹) et débouche à l'amont de la ligne de ponts (visible sur la carte de Cassini également).

III-3-4 tendance globale du XVI^{ème} au XVIII^{ème} siècle :

La tendance générale qui peut être déduite de ces différentes cartes du XVI^{ème} au XVIII^{ème} siècle est l'existence d'un nombre d'îles important qui rend très complexe le réseau hydrographique de la Loire au passage des Pont-de-Cé et Sainte-Gemmes. Ces îles sont bien plus nombreuses qu'aujourd'hui. Des velléités anthropiques de rattachement des îles les unes aux autres apparaissent déjà (cas de l'île aux Chevaux). Au droit de Sainte-Gemmes, le bras principal est sans ambiguïté le bras de Sainte-Gemmes, alimenté par le bras Saint-Aubin et la diffluence de l'île aux Chevaux. Le bras Saint-Jean n'est alors qu'un bras secondaire encore très étroit.

III-4 – XIX^{ème} siècle

III-4-1 Coumes - 1863

Suite à la crue de 1846, une carte de la Loire a été dressée en noir et blanc par l'ingénieur en chef Coumes entre 1848 et 1851 pour préciser le tracé du lit majeur où s'écoulent les crues et du lit mineur. Cette carte a été colorée et simplifiée en 1863, un extrait de ce travail est reproduit ci-dessous (figure 21 et annexe 3).



Figure 21. Carte de la Loire entre la Maine et les Ponts de Cé par l'ingénieur en chef Coumes 1863 – (source : « portraits de Loire » édité par le Conservatoire Régional des rives de la Loire et de ses affluents – document d'origine Archives Nationales)

¹ Le chapitre IX revient sur les projets successifs de canalisation de l'Authion.

La comparaison avec les cartes du XVIII^{ème} (figures 18, 19 et 20) montre que :

- à l'amont, « L'isle Merdière » s'est sans conteste rattachée à la rive droite, le chenal qui existait entre l'île et la rive est encore très visible, bien qu'il soit indiqué comme n'étant plus en eau mais comme étant végétalisé ;

- le bras St-Aubin est bien dessiné et commence à avoir sa configuration actuelle. Toutefois, un atterrissement à la sortie du bras laisse à penser que sa capacité d'écoulement est déjà réduite (car insuffisante à évacuer ce « bouchon ») ;
- l'Authion est maintenant complètement canalisé dans sa partie aval et se retrouve dans sa configuration actuelle : il débouche dans le bras de Ste-Gemmes après le rocher du Grand Jard, à 1800 m à l'aval de la ligne des ponts ;
- l'île aux chevaux s'est modifiée : un étranglement s'est formé à mi-longueur, au droit de l'île Courgain, il sépare « l'île aux Chevaux » à l'amont, de la partie aval qui devient « l'île aux Dames » ;
- dans le bras de Ste Gemmes l'îlot dit « le Petit Buteau » n'a pas évolué ;
- la longue île sans nom située à l'aval de l'île aux Chevaux a disparu et s'est rattachée à la rive gauche du bras St-Jean ; le débouché du bras de Saint-Jean s'est élargi (forme plus évasée), la queue de l'île aux Chevaux est moins effilée et s'est écourtée.

En regardant en détail ce qui se passe à l'amont et au droit de la ligne des ponts : la « Petite Ile » s'est rattachée à la grande île dite maintenant « île au Bourg » qui existait en 1755, et l'ensemble forme l'île des Ponts-de-Cé que l'on connaît actuellement, hormis un reste de bras encore en eau (qui sera appelé « Boire Salée ») et qui existe à l'aval de la ligne des ponts. Deux atterrissements sont déjà indiqués dans le bras St-Aubin (figure 22 et annexe 3).

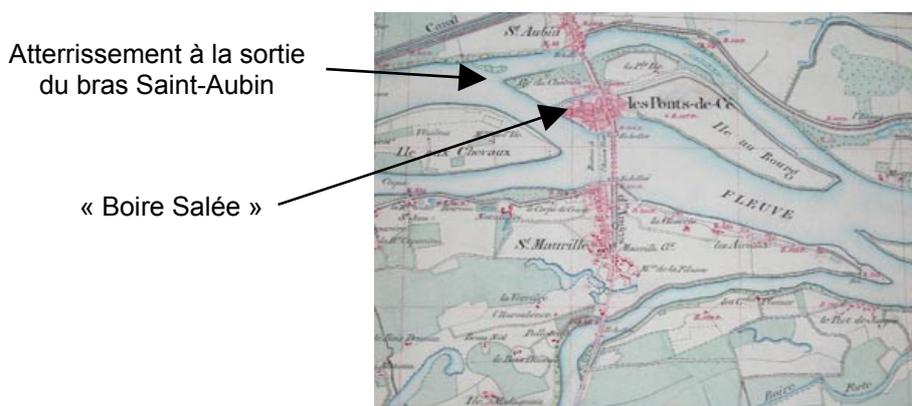


Figure 22. Détail de la carte de la Loire entre la Maine et les Ponts de Cé par l'ingénieur en chef Coumes 1863 (source : Conservatoire Régional des rives de la Loire et de ses affluents – document d'origine Archives Nationales)

III-4-2 évolution globale au XIX^{ème} siècle :

La tendance à la simplification du lit pressentie au XVIII^{ème} siècle se confirme sans évolution rapide, excepté pour le bras St-Aubin qui se retrouve presque dans sa configuration actuelle.

La capacité hydraulique de celui-ci semble avoir diminué. En parallèle, des évolutions du bras Saint-Jean sont observables, surtout l'élargissement du débouché de ce bras. Même si sa largeur reste encore réduite à la moitié du débouché du bras de Sainte-Gemmes, cet indice laisse penser que la capacité hydraulique du bras a augmenté au cours de ce siècle.

Les évolutions opposées des bras de Saint-Aubin et Saint-Jean peuvent être liées : l'un gagne en capacité au détriment de l'autre.

III-5 – XX ème et XXI ème siècle

III-5-1 Canton des Ponts de Cé - 1907



Figure 23. Extrait de l'Atlas cantonal du Maine-et-Loire de 1907 (source :collection privée)

Sur cette carte issue de l'Atlas cantonal du Maine-et-Loire (figure 23 et annexe 3), « l'Isle Merdière » se retrouve complètement accolée à la rive droite de la Loire (et devient « l'île Marière »), le bras St-Aubin occupe le lit qu'il emprunte encore de nos jours, les atterrissements indiqués sur la carte de 1863 sont toujours présents. Son entrée apparaît très étroite.

Le bras de Ste-Gemmes est encore le bras le plus large de ce secteur de la Loire ; mais des archives, datées de 1920, signalent le bras St-Jean comme étant plus profond.

III-5-2 vue aérienne de 1926



Figure 24. Assemblage des photos aériennes de la campagne IGN de juillet 1926

Cette vue (figure 24 et annexe 3), a été prise le 17 juillet 1926 ; le débit moyen journalier (QJM) à la station de Montjean / Loire était de 545 m³/s (le QJM, débit moyen journalier, le plus faible cette année-là était de 170 m³/s environ).

Elle laisse voir :

- l'existence d'importantes dunes de sable (encore immergés) dans le bras rive droite au droit de l'île Gemmes jusqu'au pont SNCF ;
- la faible profondeur du bras de Ste-Gemmes avec la présence de nombreux bancs de sables situés hors mais aussi sous l'eau ;
- le bras St-Aubin est déjà bien exondé et montre de nombreux bancs de sable ;
- l'entonnement du Louet présente aussi des bancs sableux ;
- l'existence d'un banc de sable côté rive droite à l'amont immédiat du pont Dumnacus ;
- le débit important transitant dans le bras St-Jean puisque rien ne laisse deviner l'état du fond de la rivière.

III-5-3 débouché du bras St-Jean

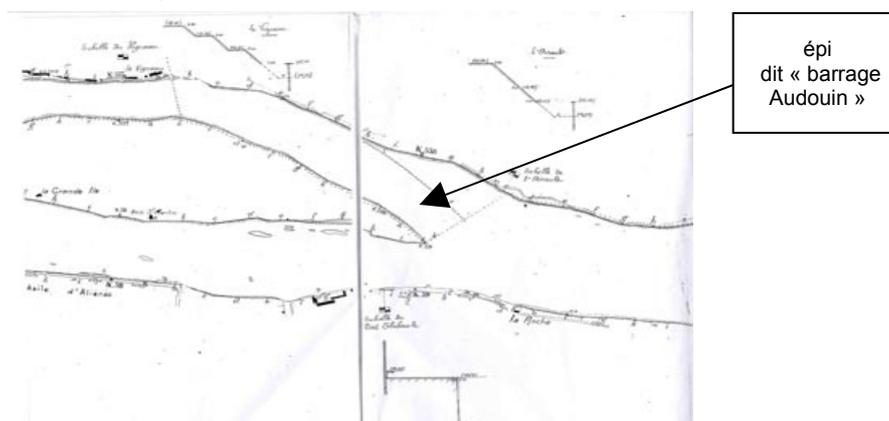


Figure 25. extrait d'un plan retrouvé aux archives départementales du Maine et Loire (plan non daté, date estimée début à mi XX^{ème} siècle)

Le plan ci-dessus, quoique non daté de façon précise, est rattachée à la première moitié du 20^e siècle (figure 25 et annexe 3). Il montre une évolution nette du débouché du bras Saint-Jean depuis le XIX^{ème} siècle :

- la queue de l'île aux Chevaux s'incurve vers le bras de Sainte-Gemmes ;
- la rive gauche à la sortie du bras Saint-Jean s'est nettement érodée, les chemins représentés sur la carte de Coumes (1863) bordant la Loire n'existent plus aujourd'hui.

Le débouché s'est donc évasé de façon très importante. Il est désormais deux fois plus large que le débouché du bras de Ste-Gemmes et que la partie médiane du bras St-Jean (inversion de la proportion respective des bras par rapport à la carte de Coumes).

Le plan représente également un épi (dit barrage Audouin) mis en place à une date inconnue (après 1904 mais avant 1920) à la sortie du bras St-Jean. Aucune note relative à cet épi n'a été retrouvée. Mais on peut penser qu'il a été mis en place pour remédier à cette augmentation très brutale de la section au débouché du bras qui, en provoquant des dépôts sableux suite au ralentissement du courant, a vraisemblablement entraîné des problèmes de navigabilité (voir II-2-9 et VIII-2).

Le plan de sonde de 1920-1935 (figure 26 et annexe 3, non daté précisément) montre également la confluence des deux bras dans une configuration assez proche de celle d'aujourd'hui, l'existence du barrage Audouin et indique que le talweg (point le plus bas du lit) se situe dans le bras de Saint-Jean.

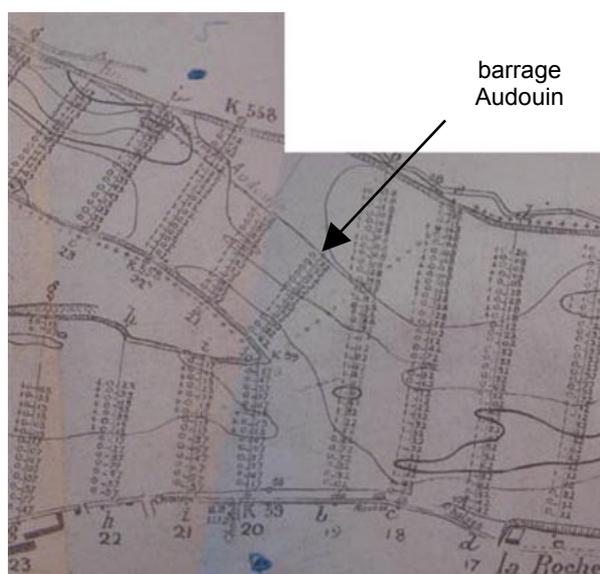


Figure 26. Extrait du « plan de sondes » du service spécial de la Loire - non daté mais estimé entre 1920 et 1935 - (source : archives départementales du Maine et Loire)

II-5-4 Scan 25 et vue aérienne de la DIREN Centre 2002 :

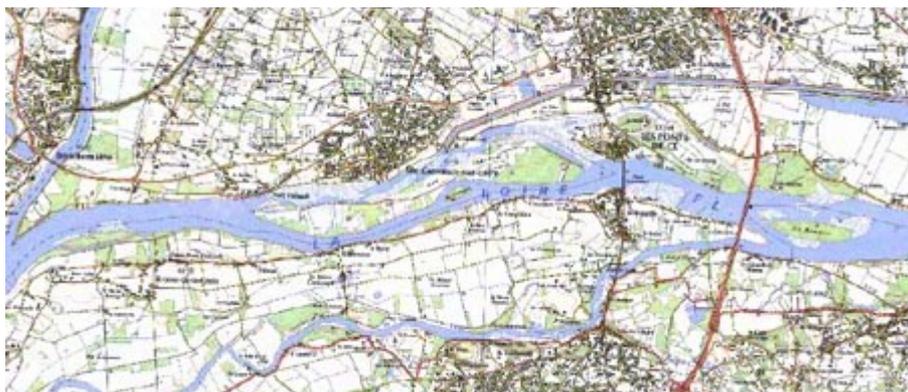


Figure 27. Carte au 1/25000 du secteur, source : IGN



Figure 28. Vue aérienne du secteur, août 2002
(source : levé topographique par laser aéroporté sur la Loire moyenne - DIREN Centre)

Ici, en un siècle, on peut s'apercevoir de la modification du cours de la Loire, évolution naturelle ou anthropique ?

La photo a été prise en août 2002 alors que le débit moyen journalier à la station de Montjean / Loire était de 225 m³/s (185 m³/s à la station des Ponts de Cé). De l'amont vers l'aval, on constate l'existence de bancs de sable à l'étiage sur divers secteurs :

- le bras rive droite de la Loire au droit de l'île Gemmes ;
- le bras St-Aubin ;
- le bras de Ste-Gemmes ;
- le bras situé entre l'île Courgain et l'île aux Chevaux.

Le bras de Saint-Jean, seul en eau à l'étiage sévère, est identifié nettement comme le bras principal, au détriment de ces bras considérés comme secondaires aujourd'hui. Sa largeur n'est cependant pas supérieure à celle du bras de Sainte-Gemmes. Ce sont les cotes du fond qui les distinguent.

Le Louet, en eau lors de la prise de vue, apparaît comme le deuxième bras de Loire, en terme d'hydraulique d'étiage.

Les atterrissements situés à l'aval des épis situés en rive gauche entre les ponts Dumnacus et la RN 260 sont bien sur visibles (voir l'explication de ces épis dans le chapitre II-2-4)

L'ancien bras dit « la Boire Salée » encore en eau en 1907 est maintenant comblé.

III-5-5 évolution globale au XX ème siècle et XXI ème siècle

La tendance amorcée au XVIIIe siècle se confirme : dans un réseau hydrographique désormais figé (bras Saint-Aubin, bras de Sainte-Gemmes, bras de Saint-Jean et Louet), le bras de Saint-Jean gagne en capacité hydraulique au détriment des bras de Sainte-Gemmes et Saint-Aubin. Au début du XX ème siècle le bras St-Jean devient ainsi le bras le plus profond ; ce qui est encore vrai de nos jours. Il gagne également en largeur en rognant sur ses berges. Les deux autres bras deviennent trop larges pour les écoulements qu'ils reçoivent : leur capacité hydraulique, menacée par la végétation, n'est maintenue que par un entretien régulier de ces grèves.

III-5 – Conclusions sur l'évolution globale de la Loire

Si auparavant la Loire donnait l'impression de divaguer entre ses îles, le fleuve, depuis le 18^e siècle, a progressivement adopté un parcours beaucoup plus rectiligne, aidé vraisemblablement par l'homme qui a favorisé l'agglomération des îles entre elles ou leur rattachement à la berge. Son cours principal, dans le secteur étudié, se situe aujourd'hui entièrement en rive gauche de son lit mineur.

La Loire reste bloquée toutefois en rive droite de sa vallée par un coteau rocheux (voir chapitre VII concernant la géologie) et en rive gauche par un endiguement (levée de Saint-Jean-de-la Croix).

Le phénomène de bascule du chenal du bras de Ste-Gemmes vers le bras St-Jean semble trouver ses premières traces dès le milieu du 19^e siècle où l'on constate une augmentation de capacité du bras Saint-Jean en parallèle d'une diminution de celle du bras de Saint-Aubin, puis à l'articulation du 19^e et 20^e siècle, où l'on voit le débouché du bras Saint-Jean s'élargir et dépasser celui du bras de Sainte-Gemmes.

Ces éléments attestent que dès le début du 20^e siècle, la hiérarchie relative à la capacité respective des bras de Loire était établi.

Au cours du 20^e siècle, si la hiérarchie n'a pas évolué, le déséquilibre de capacité entre les bras s'est accentué au détriment des bras de Sainte-Gemmes et Saint-Aubin et au profit du bras Saint-Jean.

IV. Contexte morphologique de la Loire aval

Ce paragraphe permet de resituer le contexte morphologique du site d'étude et son évolution décrite précédemment (chapitre III.) dans un cadre géographique plus large, à l'échelle de la Loire aval.

Il est inspiré en partie du mémoire de thèse de doctorat en Géographie présentée par Patrick CHARRIER en 1997 à l'université de Nantes, intitulé « *La Vallée de la Loire, des Ponts-de-Cé à Bellevue (entre Anjou et Pays Nantais)* ». Ce travail repose sur la collecte et l'analyse de nombreux documents d'archives de l'ancien Service Maritime et Navigation (lui-même ex- service de la Loire de Nantes), documents plus difficilement accessibles car aujourd'hui dispersés entre les archives départementales du Maine-et-Loire, celles de Loire-Atlantique et celles de l'ancien SMN (aujourd'hui STN rattaché la DDE 44). De ce travail, les informations suivantes peuvent éclairer la présente étude.

Jusqu'à la fin du 19^e siècle, le lit de la Loire en aval des Ponts-de-Cé présentait un caractère très changeant. La pente transversale du lit était très faible, la localisation précise d'un chenal était parfois délicate et lorsque celui-ci existait, il n'était pas rare de le voir migrer d'une rive à l'autre d'une année à l'autre voire au cours d'une même année. Cette situation nécessitait des interventions nombreuses du service chargé d'assurer la navigation : modification du balisage et chevalage² des grèves étaient opérations courantes.

Toutefois, le suivi des étiages à l'échelle de Montjean montre que malgré cette dynamique forte, l'incision du lit de la Loire est amorcée dès la seconde moitié du XIX^e siècle, d'abord lentement, puis s'accéléralant dans les dernières décennies de celui-ci. Cette incision au XIX^e siècle semble être la tendance sur l'ensemble du cours de la Loire d'après les études entre Orléans et Ancenis menées dès 1860 par l'administration des Ponts et Chaussées.

Les travaux de chenalisation du lit de la Loire à l'aval du bec de Maine au début du XX^e siècle (1904-1926) vont non seulement profondément bouleverser la dynamique décrite ci-dessus mais également accélérer dans la première moitié de ce siècle cette tendance à l'incision. Le lit de la Loire est depuis figé en plan, son chenal étant désormais fortement marqué et suivant le tracé méandrique imposé par des batteries d'épis tantôt en rive droite, tantôt en rive gauche. Cette fixation du tracé en plan a réduit la section d'écoulement actif confinée au chenal et y a concentré l'incision³, augmentant de ce fait son amplitude.

Par la suite, l'entretien du chenal et les extractions régulières de granulats qui alimentaient l'industrie des sabliers eurent pour effet d'approfondir encore d'avantage ce chenal sur l'ensemble de la Loire à l'aval du bec de Maine, renforçant la dissymétrie des profils en travers du lit. Il ne faut pas oublier non plus que les extractions de sable ont été pratiquées sur l'ensemble du cours de la Loire au cours du XX^e siècle, créant un déficit global de sédiments, indépendamment des ouvrages de chenalisation, à l'origine d'une incision généralisée du lit, également valable sur le secteur d'étude. Ces extractions en lit mineur ont été peu à peu réduites pour être totalement interdites en 1992.

² Réalisation d'une percée dans un haut-fond sableux de sorte d'assurer la continuité du chenal

³ l'incision du lit a eu lieu dans le chenal tandis que les grèves fixées par les épis sont restées « perchées » sans s'approfondir

Cette évolution de la Loire, reconnue de tous, a abouti aujourd'hui à un style fluvial simplifié. En effet, l'incision prononcée du chenal fixe a entraîné la déconnexion progressive des bras secondaires, de plus en plus souvent hors d'atteinte des eaux de la Loire, au fur et à mesure que l'incision gagnait dans le chenal. La raison n'en est pas que ces bras secondaires s'ensablaient ou s'exhaussaient, mais bien que le bras principal s'approfondissait, recueillant une part plus importante des eaux au détriment des autres bras qui eux ne subissaient que peu de modifications.

C'est donc dans ce contexte environnant qu'il faut appréhender la situation actuelle du secteur d'étude, et en particulier :

- l'incision provoquée par la chenalisation du lit quelques kilomètres à l'aval à partir du bec de Maine (épis + entretien du chenal par dragage), n'a pas manqué de se propager vers l'amont par érosion régressive, même si le lit au droit du site d'étude n'était pas contraint par des épis ;
- les extractions de sable sur l'ensemble du cours de la Loire sont généralement à l'origine d'érosion progressive vers l'aval par déficit de sédiments venant de l'amont ;
- la déconnexion du bras de Sainte-Gemmes est loin d'être un cas isolé en Loire où la déconnexion des bras s'est multipliée au cours du XX^{ème} siècle pour les raisons décrites ci-dessus : selon les cas, il est plus ou moins évident de savoir pourquoi la Loire a creusé dans tel bras plutôt que dans tel autre. La recherche de ces causes est la clé de la compréhension de la situation actuelle. La présente étude s'attache donc à déterminer ces raisons et estimer leur impact sur la situation actuelle.

V. Analyse de l'évolution des lignes d'eau d'étiage

L'amplitude de l'incision du lit de la Loire depuis un siècle est variable d'un secteur à l'autre et nécessite d'être quantifiée dans le secteur d'étude, d'autant plus que celui-ci ne se situe pas dans le secteur chenalisé par les épis mais quelques kilomètres à l'amont.

L'analyse de l'évolution de la ligne d'eau d'étiage d'un cours d'eau aide à quantifier sa tendance à l'incision, à l'exhaussement ou à la stabilité de son lit. En effet, à l'étiage, les eaux se concentrent dans les parties basses du lit qui prennent généralement la forme d'une dépression appelée chenal ou talweg. La ligne d'eau suit donc les variations du profil en long du talweg : si le talweg s'enfonce au fil des ans, alors les lignes d'eau d'étiage s'abaissent également.

V-1 – Etude du SHC du bassin de la Loire de 1980 actualisée en 1987

L'analyse de l'évolution du lit à partir de l'évolution des lignes d'eau d'étiage depuis 1900 a fait l'objet d'une étude poussée par le Service Hydrologique Centralisateur (SHC) du bassin de la Loire en 1980 actualisée en 1987 (« Rapport sur l'abaissement du lit de la Loire »). Nombre de documents retrouvés traitant de cette question utilisent les chiffres issus de ce rapport qui fait référence.

Le travail délicat réalisé lors de cette étude n'est pas détaillé ici. Il repose sur la reconstitution des courbes de tarage (relation hauteur-débit) à différentes époques aux stations hydrométriques existantes. Sur le secteur situé à l'aval du bec de Vienne (qui concerne la présente étude), cette reconstitution a été effectuée sur la base des informations de la station de référence de Montjean sur Loire, située à l'aval de la confluence avec la Maine.

Parmi les stations dont la courbe de tarage a été reconstituée à différentes époques, les deux stations de la Pointe (située au bec de Maine) et des Ponts-de-Cé renseignent sur le secteur de Sainte-Gemmes. Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous, la valeur de référence utilisée pour caractériser une situation d'étiage étant un débit de 180 m³/s à Montjean.

- à la station de la Pointe :

	1900 - 1960	1960 - 1970	1970 - 1978	1978 - 1984	1984 - 1987
Evolution de la ligne d'eau pour un débit d'étiage de 180 m ³ /s à Montjean	- 67 cm	- 40 cm	- 19 cm	-22 cm	+ 12 cm
Vitesse d'évolution	- 1,3 cm/an	- 4 cm/an	- 2,4 cm/an	- 3,7 cm/an	+ 4 cm/an

- à la station des Ponts-de-Cé :

	1900 - 1960	1960 - 1970	1970 - 1978	1978 - 1984	1984 - 1987
Evolution de la ligne d'eau pour un débit d'étiage de 180 m ³ /s à Montjean	- 12 cm	- 34 cm	- 8 cm	- 12 cm	+ 10 cm
Vitesse d'évolution	- 0,2 cm/an	- 3,4 cm/an	-1 cm/an	-2 cm/an	+3,3 cm/an

On constate donc une baisse de la ligne d'eau d'étiage et par conséquent **une incision du lit de la Loire de l'ordre de 1,30 m à la Pointe et de 0,50 m aux Ponts-de-Cé entre 1900 et 1987.**

V-2 – Données du GIP Loire-Estuaire et du SMN

Des données plus récentes ont été recueillies auprès du Groupement d'Intérêt Public (GIP) Loire-Estuaire et de l'ancien Service Maritime et Navigation de Nantes (SMN), qui prolongent les données précédentes jusqu'en 1998 :

- approfondissement à la Pointe (-20 cm entre 1989 et 1998), ce qui donne un approfondissement de 1,60 m depuis 1900 ;
- stabilisation aux Ponts-de-Cé, ce qui donne un approfondissement de 0,60 m depuis 1900.

V-3 – Conclusions

La différence importante d'incision entre les deux stations s'explique vraisemblablement par le verrou morphologique que constitue le passage des Ponts-de-Cé :

- en premier lieu, la présence du seuil de l'ancien pont (toujours visible à l'étiage) et du pont actuel et des Ponts-de-Cé sur le bras principal, ce qui atténue l'incision à l'amont du système dans le bras principal;
- en second lieu, l'affleurement rocheux du Grand Jard sur le bras de Ste-Gemmes, qui limite l'incision dans la partie de ce bras et dans le bras St-Aubin.

Les deux stations considérées (la Pointe et les Ponts de Cé) sont situées de part et d'autre de ces « obstacles » morphologiques, d'où leur évolution distincte.

Il faut donc considérer que depuis 1900 le lit de la Loire dans le secteur d'étude s'est incisé globalement d'environ :

- **1,60 m à l'aval de ces deux obstacles ;**
- **0,60 m à l'amont de ces deux obstacles.**

A ces valeurs chiffrées pour le XX^{ème} siècle, il faut garder en tête les éléments rapportés par Patrick CHARRIER dans son mémoire de thèse de doctorat : dès la moitié du XIX^{ème} siècle était constatée sur l'ensemble de la Loire d'Orléans à Ancenis, et à Montjean en particulier, une tendance (non chiffrée) à l'incision qui était certes plus lente que celle qui aura lieu au XX^{ème} siècle.

VI. Analyse de l'évolution bathymétrique

La campagne bathymétrique effectuée par le LRPC de Blois au mois de novembre 2007 et janvier 2008 a pour objectifs d'analyser la configuration actuelle du lit et d'effectuer une comparaison avec des levés antérieurs qui ont pu être retrouvés dans les archives. Les évolutions constatées sont à croiser avec l'évolution de la ligne d'eau d'étiage et avec le contexte morphologique de ce secteur de Loire.

Les levés retrouvés aux archives départementales du Maine et Loire et qui ont été exploités sont les suivants :

- profils en travers non datés réalisés entre 1920 et 1935 à l'aval du pont Dumnacus (dans les bras Ste-Gemmes et St-Jean) jusqu'à la Pointe et au delà à l'aval : on les nommera « profils 1920-1935 »;
- profils en travers de juin 1921, janvier 1922, juin 1924, juin 1931, décembre 1931 et octobre 1932, tous effectués depuis 50 m à l'amont de la confluence avec la Maine jusque 24 kilomètres à l'aval ;
- profils en travers de 1923 exécutés à l'amont du pont Dumnacus (sans le bras Saint-Aubin) ;
- profils en travers de 1949 à l'amont de la diffluence du bras de Sainte-Gemmes (sans le bras Saint-Aubin) ;
- profils en travers de 1973 à l'aval du pont Dumnacus (dans les deux bras Sainte-Gemmes et Saint-Jean) ;
- semis de points de 1990 dans les bras de Ste-Gemmes et St-Aubin ;
- profils en travers de 1998 sur tout le secteur, uniquement dans le bras principal (donc sans les bras St-Aubin et Ste-Gemmes) ;
- profils en travers de 2007 (LRPC de Blois) dans tous les bras.

Mis à part le levé de 2007, aucun autre ne fournit des mesures dans tous les bras et sur toute la longueur du secteur d'étude. C'est donc en comparant les profils de tous les levés confondus que les grandes tendances d'évolution des fonds ont pu être analysées.

VI-1 – Recalage des données les plus anciennes

Les profils en travers antérieurs à 1950 ont été retrouvés aux archives départementales du Maine-et-Loire. Ils proviennent d'un versement effectué par le Service Maritime et Navigation de Nantes. Il s'agit de plans de sondes, fournissant pour la plupart d'entre eux des profils en travers du lit tous les 100 mètres (voir figures 26 et 29). Chaque profil est généralement constitué d'un point tous les 10 à 20 mètres.

Les cotes affichées sur ces plans, appelées points de sonde ou sondes, ne correspondent pas à l'altitude des fonds mais à une profondeur. Une notice d'accompagnement a permis de recalibrer ces profondeurs dans le système de Nivellement Général de la France (NGF). Cette notice explique qu'il s'agit de la profondeur relative à la ligne d'eau de référence, qui avait été définie au 19^e siècle comme **la ligne d'eau « Zéro »** passant par les zéros des échelles implantées le long de la Loire⁴.

La méthode suivie à l'époque pour obtenir ces profondeurs devait être la suivante . Les opérateurs relevaient sur le terrain la profondeur sous la surface de l'eau. Ils notaient en parallèle les niveaux aux deux échelles encadrant le site de mesure. Ils pouvaient donc tracer la ligne d'eau simplifiée le jour de la mesure, en reliant ces deux points, et la superposer à la ligne d'eau « Zéro » de référence. Ils pouvaient alors en déduire pour chaque profil en travers le décalage entre la ligne d'eau le jour de la mesure et la ligne d'eau « Zéro » et ainsi ramener la profondeur mesurée à la profondeur qu'ils auraient mesurée si la Loire avait été à son niveau de référence « Zéro ».

Le travail du LRPC a été simplement de rechercher les altitudes, aujourd'hui nivelée dans le référentiel altimétrique IGN 69, des « Zéros » des échelles du secteur d'étude élargi (La Daguinière, Les Ponts-de-Cé, La Pointe). La ligne d'eau de référence « Zéro »⁵ a ainsi été reconstituée dans le référentiel IGN 69, donnant une altitude de la surface de l'eau pour chaque profil en travers. Les points de sondes indiqués sur les plans ont ensuite été enlevés (quand les sondes sont négatives) ou ajoutés (quand les sondes sont positives) à l'altitude de la surface pour obtenir l'altitude des fonds.

Cette méthode de recalage n'est pas sans source d'incertitudes. En particulier, on sait que la ligne d'eau réelle d'un cours d'eau n'est pas toujours similaire à une droite reliant les cotes aux deux échelles, en particulier à l'étiage. Toutefois, si ces sources d'erreurs existent bien, elles sont de l'ordre de grandeur de la dizaine de centimètres sur la Loire (pente faible). Or les écarts constatés entre les bathymétries anciennes reconstituées par ce raisonnement et les bathymétries actuelles sont de l'ordre de grandeur du mètre (voir suite du chapitre VI). Ces incertitudes n'entachent donc pas les conclusions que l'on peut tirer des ces documents très précieux.

⁴ échelles implantées à l'origine de sorte que leurs zéros respectifs coïncident, c'est à dire que lorsque la Loire était au niveau « 0 » à une échelle, elle l'était également aux autres. L'évolution du lit et en particulier son incision depuis 1 siècle, ont complètement bouleversé cette correspondance.

⁵ bien plus haute que les étiages actuels du fait de l'incision du lit

VI-2 – Analyse détaillée des profils

Le positionnement des profils en travers et le cahier de ces profils figurent en annexe 4 et 5.

D'amont en aval, les observations suivantes peuvent être faites :

PK 10320 : situé en amont de l'île Gemmes, l'évolution en 1949 et 1998

Il montre un engraissement de l'ordre de 1m sur la moitié droite du profil tandis que la moitié gauche, plus basse se chenalise (chenal prononcé en 1998 qui n'existait pas en 1949). Ce décalage entre les deux moitiés du lit se retrouve sur les photos aériennes où l'on voit des grèves affleurer sur la moitié droite.

PK 8970 : situé au droit de l'île Gemmes.

Des deux côtés de l'île, le lit s'est incisé entre 1949 et 2007, de l'ordre de 0,5 m. Le dénivelé entre les deux bras étant très important, entre 2m et 2,50m, constat qui peut être fait également sur les photos aériennes. Le bras rive droite est le siège permanent d'une large grève tandis que le chenal est creusé dans le bras rive gauche. Cette configuration pérenne est favorable à l'alimentation du Louet et défavorable à l'alimentation du bras St-Aubin. Il est à noter que cette disposition est antérieure à la construction des épis en 1952 et ne saurait donc lui être attribuée.

Enfin, les quelques points qui ont pu être levés à l'embouchure du Louet semblent montrer une certaine stabilité de cette entrée, qui est vraisemblablement contrôlée par le seuil constitué par la chaussée des Aireaux (II-2-1 et III-1).

PK 8450 : situé à l'aval du pont de la rocade RN 260.

Le chenal s'est incisé d'environ 0,50 m depuis 1949. Les variations de section (plus large en 1998 et plus restreinte en 1949 et 2007) pourraient s'expliquer par le passage aléatoire de dunes de sable dans le prolongement du bras en rive droite de l'île Gemmes (voir PK 8970).

Par ailleurs, le point bas du bras St-Aubin s'est approfondi de 70 cm entre 1990 et 2007. Cette incision est peut-être due aux déblaiements effectués dans les années 1990 mais surtout à l'enlèvement en 1990 de la pile de l'ancien pont SNCF qui était implantée dans le lit du bras. Ce constat correspond bien au caractère actif de l'amont de ce bras constaté sur site (lit étroit et berges abruptes soumis à une forte érosion).

La comparaison de sa section avec celle du Louet montre que ce dernier propose une capacité d'écoulement bien meilleure, constat également réalisé sur site.

PK 7850 : situé au droit de l'épi central.

La construction des trois épis en 1952 en rive gauche a provoqué une chenalisation très marquée en rive droite et un engraissement en rive gauche (4m à 5m de dénivelé entre le chenal et les grèves rive gauche en 1998 et 2007). L'interprétation de l'abaissement du lit sur ce profil n'est donc pas significative car très locale.

Sur ce profil également, le bras de St-Aubin s'est approfondi de près de 1 mètre, ce qui confirme la tendance constatée au profil précédent.

PK 7200 : situé 100 mètres à l'amont du pont Dumnacus.

La construction des trois épis en 1952 en rive gauche et le rescindement a provoqué la bascule du profil, puisque la grève présente en 1923 et 1949 en rive droite (présence gênante pour l'alimentation en eau potable) a disparu pour laisser place au chenal, (moins marqué cependant qu'au profil 7850). La cote du chenal varie cependant peu depuis 1923 : l'incision semble donc quasi nulle, effet vraisemblable de la proximité du pont Dumnacus et du seuil constitué par l'ancien pont qui ont stabilisé la profondeur du chenal à l'amont immédiat de cette obstruction.

Le bras St-Aubin est resté stable, contrairement aux profils précédents, ce qui rejoint là encore les constats visuels effectués sur site : dans sa partie aval, la dynamique du bras Saint-Aubin semble s'être essouffée, le lit s'est élargi et la végétation gagne.

PK 6850 : situé 200 mètres à l'aval du pont Dumnacus, avant la diffluence du bras de Ste-Gemmes.

La comparaison des profils de « 1920-1935 » et de 1949 montre l'existence pour ces deux levés d'un haut fond sableux au milieu du lit qui sépare un chenal en rive gauche d'un autre en rive droite. Si en « 1920-1935 » le lit était plus profond en rive droite, le point bas se retrouve en rive gauche en 1949.

La modification essentielle du profil (qui a perduré jusqu'à aujourd'hui) s'est produite entre 1949 et 1973 :

- disparition d'une flèche sableuse qui prolongeait la tête de l'île aux Chevaux en amont et séparait les deux bras St-Jean et Ste-Gemmes ;
- abaissement global des sections en eau de l'ordre du mètre, toutefois plus marqué en rive gauche qu'en rive droite.

La disparition de la « flèche sableuse » (voir plans ci dessous, figure 29) est consécutive à la construction des épis en 1952 à l'amont du pont Dumnacus combiné vraisemblablement au reprofilage de la berge.

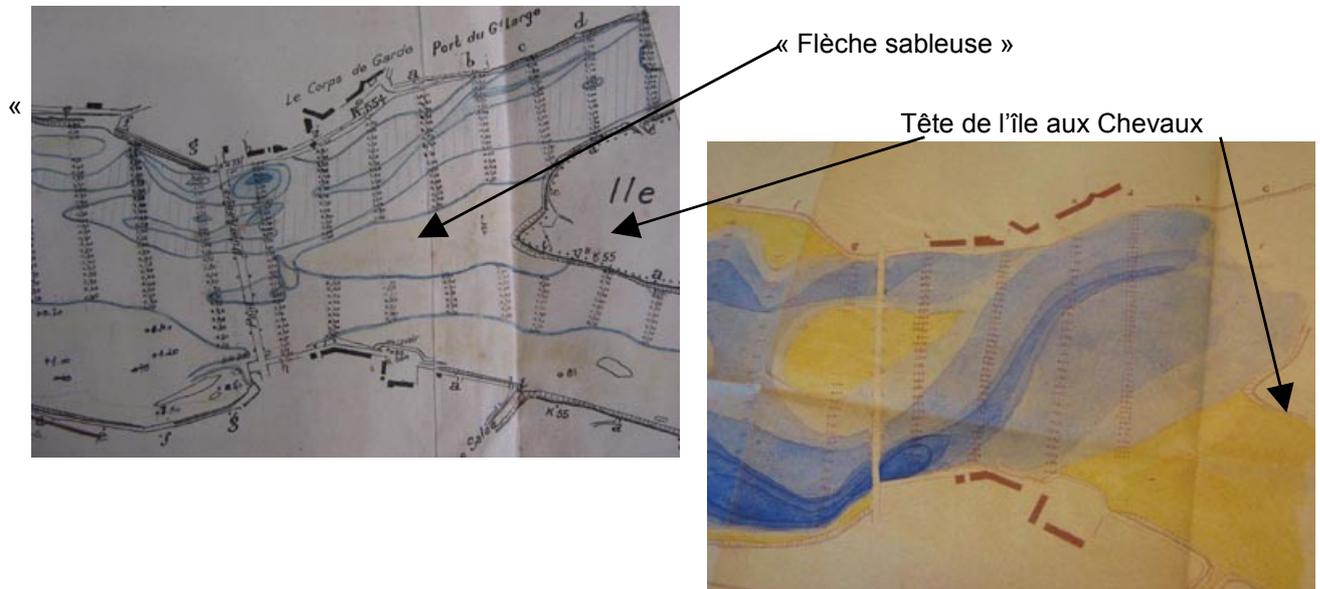


Figure 29. Extraits de « plans de sondes » (source : archives départementales du Maine et Loire)

Depuis 1973, l'approfondissement s'est poursuivi mais de façon moins spectaculaire, et une mobilité forte du chenal est visible (en rive gauche en 1973 puis en rive droite en 1998 et à nouveau en rive gauche en 2007).

PK 6700 : à l'amont immédiat de la diffluence.

Tandis que l'entrée du bras St-Jean s'est progressivement approfondie sur toute sa largeur de 1949 à 2007 (creusement de 1m à 1,5m), l'évolution de l'entrée du bras de Ste-Gemmes n'est pas aussi nette : on constate une fluctuation du profil qui au final s'est légèrement approfondi en rive gauche (d' environ 0,50 m) et s'est engraisé en rive droite.

En 1949, des deux entrées, c'est celle du bras St-Jean qui offrait déjà la meilleure capacité hydraulique. Ce constat est renforcé

- d'abord, par le plan de 1949 ci-dessus : l'entrée du bras de Ste-Gemmes se faufile entre la flèche sableuse au centre du lit et une grève accolée à la rive droite, rendant cette entrée plus étroite que celle du bras de St-Jean ;

- ensuite par la mention en 1933 du passage du chenal navigable dans le bras St Jean. Ce décalage n'a cessé de s'accroître depuis (de 0,60 m à 1,80 m).

En comparant ce profil avec le précédent, alors qu'en 1949, l'entrée du bras de Ste-Gemmes se faisait suivant une pente vers l'aval, une « marche » s'est depuis progressivement mise en place, les fonds remontant en approchant de l'entrée de ce bras.

Enfin, bien que l'évolution soit faible, on constate de 1990 à 2007, en passant par 1998, un léger exhaussement général des fonds compris en 0 et 50 cm.

PK 6650 : situé à la diffluence entre les deux bras.

Les constats sont identiques au profil précédent très proche. La comparaison avec le levé de « 1920-1935 », assez similaire au profil de 1949, est possible ici. Elle renforce les constats précédents : depuis « 1920-1935 », l'entrée du bras de Sainte-Gemmes ne s'est pas exhausé, le profil est relativement constant sur sa largeur, avec approfondissement du point bas sur seulement une faible partie tandis que le bras Saint-Jean s'approfondit de 1m à 1,5m sur toute sa section.

On note cependant une surprenante encoche profonde, naturelle ou anthropique, dans le bras de Ste-Gemmes (chenal très prononcé) pour le levé de 1990, que l'on retrouve atténuée aux profils suivants et qui s'est résorbée dans le temps (sillon bien moins prononcé en 1998 et 2007). C'est la preuve qu'un passage dans l'entrée de ce bras ne parvient pas à créer une dynamique d'érosion. Ce profil de 1990 n'est donc pas représentatif du comportement du bras de Sainte-Gemmes à cette époque. Toutefois, outre cet « accident » bathymétrique, on constate de 1990 à 2007 comme pour le profil précédent, un léger exhaussement général des fonds compris en 0 et 50 cm.

PK 6620 : situé dans le bras de Ste Gemmes à 30 m de son entonnement.

Le constat est le même pour le bras de Ste-Gemmes : on observe depuis « 1920-1935 » une stabilité du profil qui présente une dissymétrie entre rive gauche et rive droite. Une tendance à l'engraissement (1 mètre) est constatée sur les 100 derniers mètres en rive droite.

Bien que l'évolution soit faible au regard des fluctuations depuis « 1920-1935 », on constate de 1990 à 2007 comme pour les deux profils précédents, un léger exhaussement général des fonds compris en 0 et 50 cm, sur le point bas en rive gauche comme sur la partie plus haute du profil en rive droite.

PK 6290 : situé dans les trois bras à 360 m de la diffluence du bras de Ste Gemmes.

Le constat reste globalement le même sur le bras St-Jean qui s'est nettement approfondi.

Sur le bras de Ste-Gemmes, un exhaussement net de l'ordre de 1 mètre est observé entre « 1920-1935 » et aujourd'hui. Toutefois, le levé de « 1920-1935 » met en évidence un affouillement localisé au droit de ce profil avec une nette remontée des fonds de part et d'autre (voir profils précédents et suivants) : ce profil « 1920-1935 » n'est donc pas représentatif du comportement du bras de Sainte-Gemmes à cette époque. L'engraissement constaté de l'ordre de 1 mètre en rive droite sur les 100 derniers mètres est toutefois certainement valable (tendance confirmée sur les profils de part et d'autre).

Les points bas respectifs des deux bras (St-Jean et Ste-Gemmes) diffèrent de 1,30 mètres en 2007.

Le bras St-Aubin s'est approfondi de l'ordre de 0,5 m entre 1990 et 2007. Cette tendance est peut-être à mettre sur le compte des importants travaux de déblaiement effectués en 1995 et 1999 sur ce bras à l'aval du pont de Verdun.

PK 5580, 5560 et 5390 : trois profils successifs dans le bras de Ste-Gemmes les deux extrêmes encadrant l'affleurement du rocher du Grand Jard, celui du milieu étant situé au droit du pointement maximum du rocher dans le bras.

Ces trois profils sont assez irréguliers et difficiles à interpréter. Alors qu'il n'y a pas d'approfondissement notable du chenal au PK 5580 (amont du Grand Jard) entre « 1920-1935 », 1990 et 2007, son incision est de 0,50 m aux deux profils suivants. Ce constat renforce la thèse de l'effet de seuil que jouerait l'affleurement du Grand Jard.

PK 4960 : situé mi-longueur de l'île aux Chevaux, à l'aval immédiat de l'île Courgain.

Le bras St-Jean voit une remontée des fonds de 0,50 m depuis 1998 : cette situation contraire aux autres profils pourrait s'expliquer par le passage d'une dune dans ce bras lors du levé de 2007. Pour le reste, l'évolution est voisine de celle des profils précédents. Dans le bras St-Jean, l'incision entre « 1920-1935 » et 1973 est de l'ordre de 0,50 m, puis entre 1973 et 2007 de plus d'1 m.

Le bras de Ste-Gemmes qui s'était peu voire pas creusé entre « 1920-1935 » et 1973 (les points bas se déplacent latéralement), s'est approfondi depuis 1973 et ce phénomène continue après 1990 (0,50 m supplémentaire d'approfondissement du chenal).

Le dénivelé entre les chenaux des deux bras est de 1,90 m.

PK 3350 : situé à 600 mètres en amont de la confluence des deux bras

Le constat est toujours le même quant à l'incision du bras St-Jean (plus de 1 m en moyenne depuis « 1920-1935 ») et au dénivelé entre les deux bras en 2007 (de l'ordre de 2 m).

Sur le bras de Ste-Gemmes, là encore les profils de « 1920-1935 » et 1973 sont assez similaires. Le chenal s'y est ensuite creusé (environ 0,35 m) et déplacé de 1973 à 1990 puis de 1990 à 2007 (environ 0,30 m), situé à droite de l'axe médian du bras en 1973 et « 1920-1935 » le chenal d'alors s'est remblayé et il est aujourd'hui, comme en 1990, situé en rive gauche et s'est approfondi. Une explication, donnée par les riverains, pourrait être la construction d'une piste en enrochements ou blocs d'ardoise qui permettait d'accéder à une zone d'extraction de sable autorisée directement dans le bras. Si telle en est effectivement la raison, il faut constater que cette piste n'a pas limité l'approfondissement de ce profil ni du précédent.

PK 2770 : situé à la confluence des deux bras.

Dans le bras de Ste-Gemmes, le chenal situé en rive droite aujourd'hui s'est approfondi comme à l'amont mais de façon encore plus prononcée: de 0,50 m de « 1920-1935 » à 1990 et de 0,5 m à 1 m depuis 1990 : l'incision totale atteint presque 1,5 mètre.

Le bras St-Jean voit ses fonds fortement remonter (de 1 m environ) par rapport au profil précédent, du fait de l'élargissement à son débouché et ce quelle que soit la date du levé. L'incision depuis « 1920-1935 » s'y réduit à 1 m.

La dissymétrie disparaît entre les deux profils bien que le bras St-Jean reste légèrement plus creusé.

PK 2200 : situé 550 m à l'aval de la confluence des bras St-Jean et de Ste-Gemmes

La Loire s'est reconstituée en un seul bras (à l'exception du Louet, plus au sud), les fonds entre les deux rives s'homogénéisent aujourd'hui entre les cotes 12 m et 13 m.

Depuis « 1920-1935 », le profil (alors compris entre 13 m et 14 m d'altitude) s'est approfondi sur toute sa largeur de l'ordre d'1 mètre, les points bas étant abaissés de 0,60 m entre 2007 et « 1920-1935 ». On ne constate pas d'incision entre 1998 et 2007, mais une inversion (rive droite – rive gauche) de la configuration du lit qui peut s'expliquer par les conditions hydrologiques différentes lors des deux levés (à Montjean / Loire : 1650 m³/s en 1998 et 300 m³/s en 2007).

PK 1610 : l'évolution constatée entre « 1920-1935 » et 2007 est similaire à celle du profil précédent. Le profil s'est abaissé sur l'ensemble de sa largeur d'environ 1m en moyenne.

PK 780 : la tendance à l'abaissement des fonds est là aussi observable en rive gauche. La spécificité de ce profil est l'étonnante fixité des fonds en rive droite, où quels que soit le levé, les cotes sont assez similaires.

PK 260 : les trois profils des années 20-30 sont situés toujours environ 1 m plus haut que le profil de 2008. L'abaissement est plus marqué en rive droite qu'en rive gauche.

-

VI-3 – Bilan de l'analyse bathymétrique

Cinq secteurs au fonctionnement distincts peuvent être dissociés, détaillés ici d'amont en aval (paragraphe VI-2-1 au VI-2-5).

VI-3-1 Bras principal : zone située à l'amont du pont Dumnacus (+ancien pont)

Dans le bras principal, depuis 1949, la construction des épis en rive gauche en 1952 a conduit à une évolution importante en plan du lit (bascule du lit vers la rive droite) et un fort affouillement ponctuel au droit de ceux-ci, effets souhaités lors de leur mise en place. Cette évolution n'a cependant pas eu d'impact en plan plus à l'amont où le chenal passe aujourd'hui comme en 1949 au sud de l'île Gemmes, le bras nord étant constamment encombré par des grèves. Quant à l'évolution du profil en long du lit (voir figure ci-dessous dans sa partie droite), l'incision peut être estimée à 50 cm environ bien que l'affouillement ponctuel important dû aux épis rende l'analyse délicate. Cette valeur de 50 cm est cohérente avec celle de l'abaissement de la ligne d'eau en amont du pont depuis 1960 (- 60 cm, voir chapitre V).

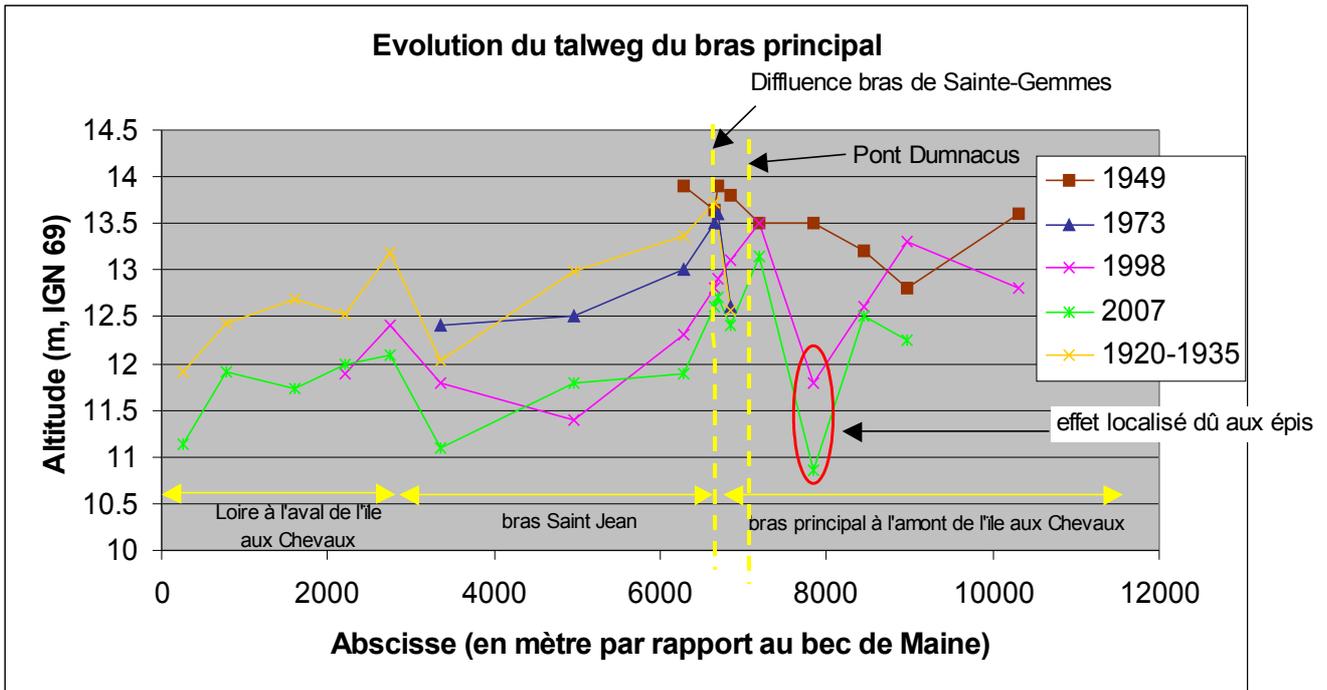


Figure 30. Evolution du profil en long du talweg bras principal

VI-3-2 Bras Saint-Aubin

Dans le bras Saint-Aubin, l'évolution du profil en long entre 1990 et 2007 confirme les constats visuels effectués sur site: étroit et actif à l'amont, il s'est incisé sur 1 mètre environ, tandis qu'à l'approche du pont de Verdun, son lit qui s'élargit progressivement et qui se végétalise, est resté stable.

Le démantèlement de la pile de l'ancien pont SNCF en 1990, qui était installée dans le lit du bras, peut expliquer ce net abaissement constaté dans la partie amont du bras (entre 0.5 et 1m). Cette tendance avait déjà été observée en 2000 par le cabinet SCE en comparant les levés de 1990 avec des levés de 2000 (voir chapitre VIII.3). Les effets bénéfiques de cet enlèvement n'ont cependant pas atteint le secteur proche du pont de Verdun.

A l'aval du pont de Verdun, malgré un élargissement croissant et une végétalisation forte que seul un entretien régulier (nettoyage et scarification du lit) parvient à limiter, le lit s'est abaissé entre 1990 et 2007, d'une cinquantaine de centimètres. Cette tendance est vraisemblablement due aux travaux importants de déblaiement effectués dans ce secteur entre 1995 et 1999 (voir chapitre VIII.3).

Le chenal du bras Saint-Aubin présente en 2007 une pente négative qui, couplée avec une largeur plus importante du lit à l'aval, pourrait expliquer sa perte de dynamisme au fil de l'avancée dans le bras.

En crue le bras St-Aubin apporte toujours de l'eau dans le bras de Ste Gemmes (il fait office de bras de décharge).

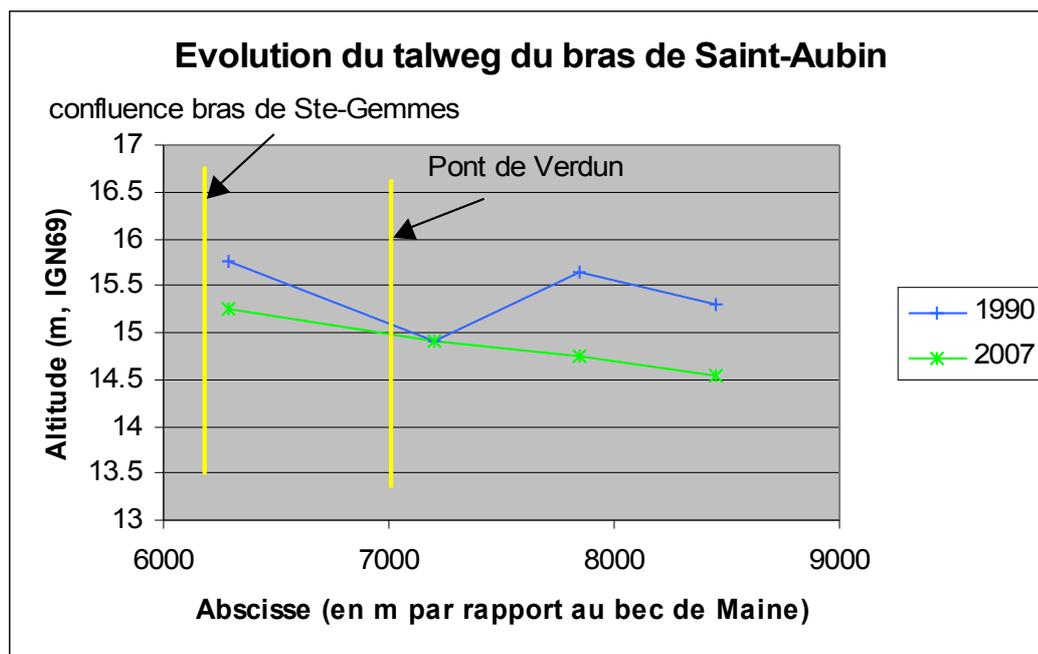


Figure 31. Evolution du profil en long du talweg : bras de Saint-Aubin

VI-3-3 Bras Saint-Jean

La tendance dans le bras St-Jean, bras principal après la diffuence du bras de Ste Gemmes en rive droite, est claire : il s'est incisé sur l'ensemble de sa largeur entre « 1920-1935 » et 2007 (voir figure 30). Le chenal s'y est approfondi de 1 à 1,50 m. Il s'était déjà incisé entre « 1920-1935 » et 1973, mais à un rythme apparemment plus lent (l'approfondissement est de l'ordre de 0,50 m) que de 1973 à aujourd'hui (approfondissement de l'ordre de 1 m).

Un haut fond existe peu avant la confluence en queue d'île lorsque le bras retrouve une section plus large : il présente des cotes voisines de celles du bras de Ste-Gemmes. Ce haut fond, lié à la brusque augmentation de section (d'où un ralentissement de l'écoulement qui provoque donc un dépôt de sable) se prolonge après la confluence avec le bras de Sainte-Gemmes puisque la section d'écoulement s'élargit à nouveau (voir VI-2-5).

VI-3-4 Bras de Sainte-Gemmes

En rive droite, le bras de Ste-Gemmes ne s'est pas ensablé à proprement parler au cours du XX^{ème} siècle puisqu'il n'y a pas eu d'exhaussement des fonds : son chenal s'est même incisé depuis « 1920-1935 » à l'aval du rocher du Grand Jard. En effet, si les fonds en aval de ce rocher ont peu évolué de « 1920-1935 » à 1973, une incision est constatée depuis 1973 ; qui s'est accélérée depuis (de - 0,60 à - 0,70 m de 1973 à 2007).

En revanche, à l'amont du rocher du Grand Jard, on note un engraissement de la rive droite qui aujourd'hui tend à se végétaliser et à se fixer, avec une évolution plutôt erratique de la profondeur du chenal (tendance difficile à dégager) : les deux fosses ponctuelles observées à l'aval de la diffuence en « 1920-1935 » et 1990 sont plus assimilables à un « accident bathymétrique » naturel ou non (dragage) qui ne se prolonge ni en amont et ni en aval et qui se résorbe dans le temps. L'évolution entre 1990 et 2007 laisse à penser que le profil en long tend à se stabiliser autour d'une cote de 14 m (IGN 69) qui semble correspondre au point dur fixé par le rocher du Grand Jard.

On distingue donc deux sous-secteurs :

- l'amont du Grand Jard qui, après s'être incisé entre 1973 et 1990, voit maintenant le profil en long de son chenal se stabiliser et la rive droite s'engraisser. **En excluant les fosses locales (1990), une légère tendance à l'exhaussement (inférieur à 50 cm) est constatée sur les premiers profils à l'entrée du bras;**
- l'aval du Grand Jard où l'incision, faible avant 1973, s'est fortement accélérée depuis et continue encore sa progression en 2007. **Toutefois, contrairement à l'approfondissement constaté sur toute la largeur du bras St-Jean, l'incision n'a eu lieu que dans le chenal en rive gauche pour le bras de Ste-Gemmes, le reste de la section étant généralement resté stable donnant une impression d'ensablement en rive droite.**

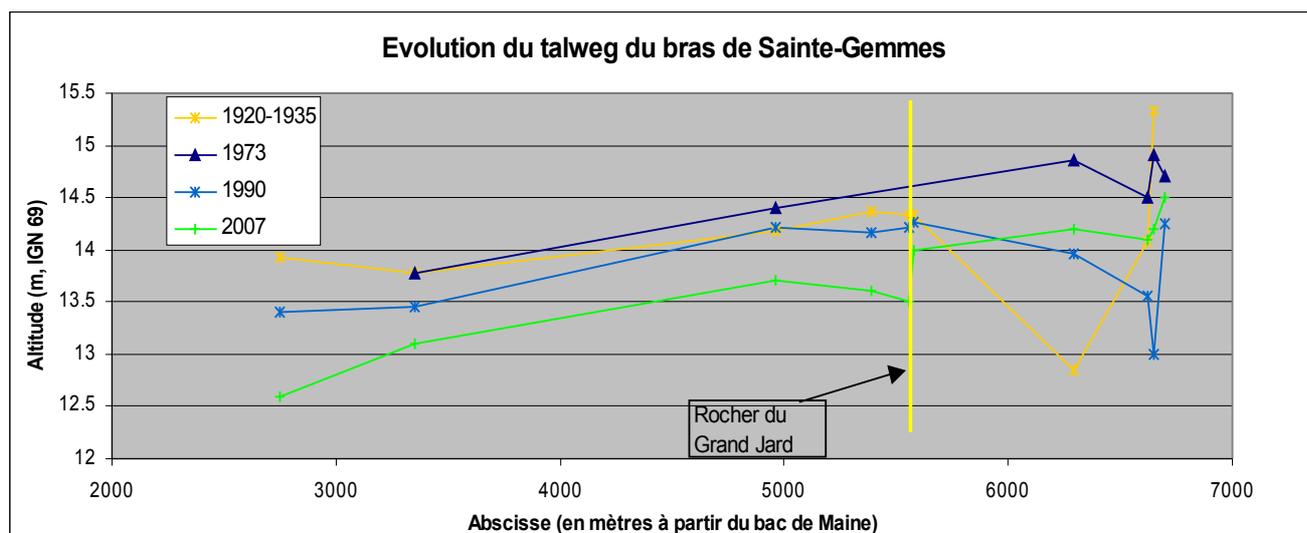


Figure 31. Evolution du profil en long du talweg du bras de Sainte-Gemmes

A l'articulation de ces deux sous-secteurs, le lit à l'amont immédiat du rocher du Grand Jard est d'une grande stabilité. A l'aval de ce point dur, l'érosion régressive a pu se faire, bien que plus faiblement que dans le bras de Saint-Jean. A l'amont, le lit est semble actuellement stable au regard des fluctuations passées. Toutefois la tendance constatée depuis 1990 l'entrée du bras de Sainte-Gemmes semble être au léger exhaussement des fonds et donc à l'augmentation du seuil d'alimentation du bras.

VI-3-5 Aval de l'île aux Chevaux

Le secteur situé directement à l'aval de l'île aux Chevaux est caractérisé par une remontée nette des fonds (voir figure 30) par rapport à bras de Saint-Jean. Ce haut fonds sableux s'abaisse cependant à l'approche de la confluence avec la Maine par érosion régressive à partir du chenal navigable.

Les profils levés « 1920-1935 », à l'aval de l'île aux Chevaux, montrent que ce haut fond sableux était déjà présent à l'époque (le même élargissement de section existait déjà à la sortie du bras d'après les plans) mais sa cote a subi également une forte diminution : de 1 à 2 m sur la largeur du lit en comparaison de 2007.

Bien ce secteur soit marqué par la présence d'un haut-fond sableux, l'incision l'a touché également, ce qui confirme que l'incision du lit par chenalisation à l'aval du bec de Maine est remontée par érosion régressive depuis la Pointe, atteignant ce secteur puis le bras Saint-Jean.

VI-3-6 Evolution relative des bras de Sainte-Gemmes et Saint-Jean

On peut donc parler d'une incision sur l'ensemble des deux bras de Ste-Gemmes et St-Jean depuis un siècle. Toutefois, cette incision ne se fait pas au même rythme dans les deux bras : elle a été deux fois plus intense dans le bras St-Jean que dans le bras de Ste-Gemmes et le rapport est encore plus important entre les entrées respectives des bras (évolution difficile à quantifier pour le bras de Sainte-Gemmes). Par ailleurs, si le bras de Saint-Jean s'est approfondi sur toute sa largeur, l'incision constatée sur le bras de Sainte-Gemmes ne concerne qu'une partie de la section : son chenal.

Le bénéfice hydraulique est donc au profit du bras St-Jean qui capte proportionnellement plus de débit aujourd'hui, d'où l'exhaussement apparent du bras de Ste-Gemmes qualifié par les riverains d'« ensablement », mais qui n'en est pas un puisque ses fonds ne se sont pas exhaussés.

Il est enfin important de noter ici que le déséquilibre entre les deux bras en faveur du bras de Saint-Jean était déjà présent en « 1920-1935 », dans une moindre proportion: ce déséquilibre n'a fait que s'accroître depuis (figure 32 ci-dessous et annexe 6).

Profil en long "ramifié" du lit de la Loire : comparaison "1920-1935" - 2007

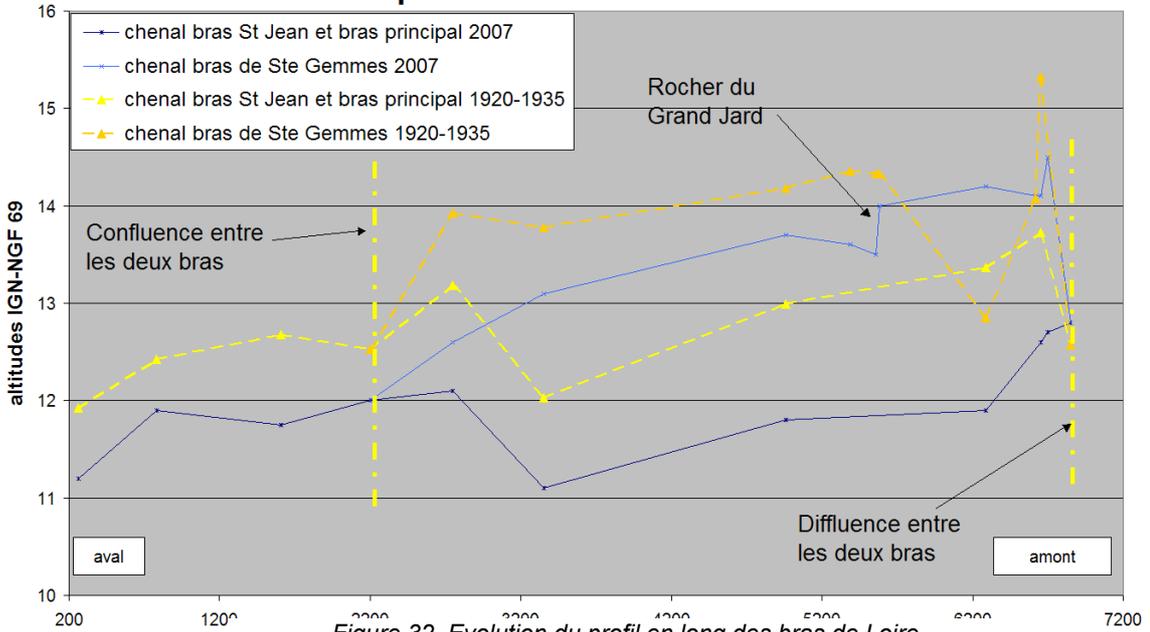


Figure 32. Evolution du profil en long des bras de Loire

VI-3-7 Situation actuelle

La situation actuelle peut-être illustrée par le profil en long de tout le secteur, ramifié de sorte de représenter les bras secondaires et le bras principal (voir figure 33 ci-après et annexe 6).

Profil en long "ramifié" du lit de la Loire en 2007

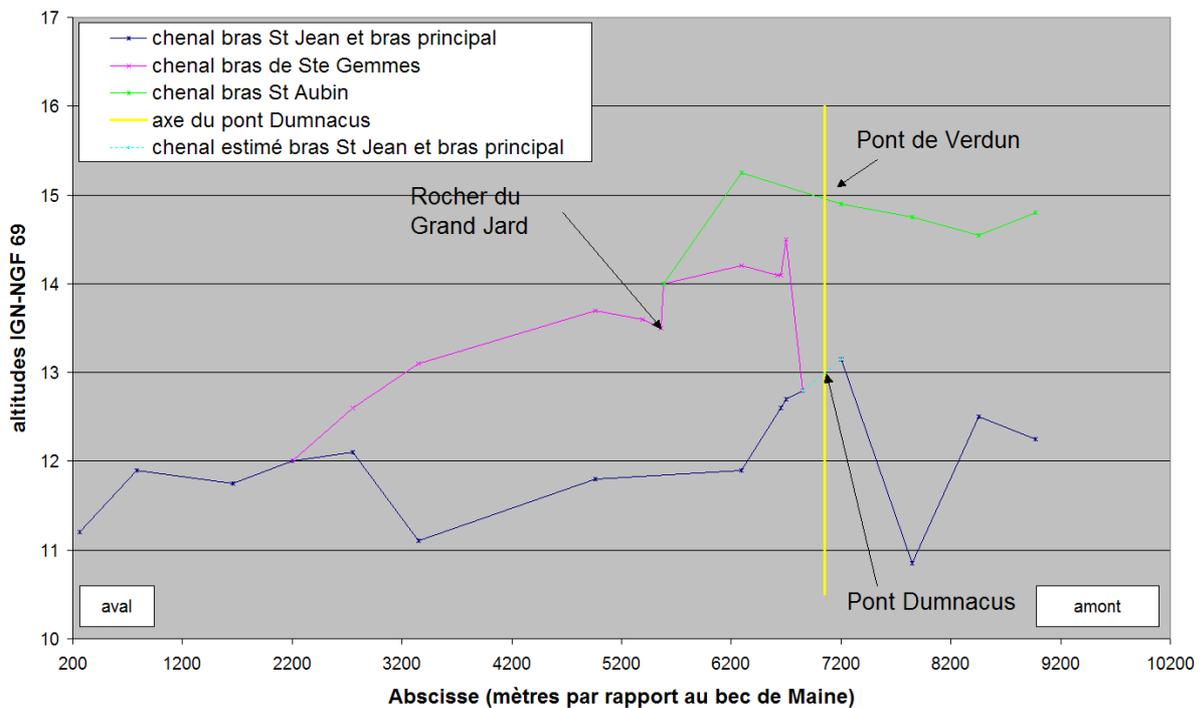


Figure 33. Profil en long actuel des bras de Loire

On y constate :

- le caractère « perché » du bras St-Aubin par rapport au bras principal : en 2007 le décalage atteint 2 m à 3 m ;
- le caractère « perché » du bras de Ste-Gemmes par rapport au bras St-Jean : en 2007 le décalage atteint 1,50 m à 2 m ;
- les pentes nulles (voire négatives) dans le bras St-Aubin en amont du pont de Verdun et sur le bras de Ste-Gemmes en amont du rocher du Grand Jard.

VII. Géologie et influence du substratum

VII-1 – Contexte géologique du secteur

Les schistes d'Angers affleurent dans le secteur d'étude, ils peuvent prendre des faciès de grès quartzitiques, plus durs, ce qui se traduit par l'existence de buttes dans la topographie du toit du substratum qui peuvent se manifester n'importe où dans la vallée : le quartier Saint-Maurille, qui sépare Loire et Louet, aux Ponts-de-Cé est un exemple de cette remontée du substratum en plein milieu de la vallée. Certains affleurements sont visibles dans le lit de la Loire et en particulier dans le bras de Sainte-Gemmes.

Les sondages et les affleurements permettent sans ambiguïté d'affirmer que dans l'ensemble le toit du substratum est à des altitudes supérieures en rive droite qu'en rive gauche (voir cartes jointes « Toit du substratum » en annexe 7).

Ainsi, le coteau schisteux est situé directement en bordure du bras de Ste-Gemmes, où il est possible d'observer la présence de nombreux affleurements rocheux, alors que le substratum est nettement plus bas sous le bras St-Jean où seuls des sondages permettent de connaître son altitude.

Le substratum joue un rôle essentiel dans la configuration actuelle du lit de la Loire. Ce rôle est détaillé ci-dessous.

VII-2 – Constats visuels

Sur le terrain il est aisé de vérifier la faible profondeur du substratum le long du bras de Sainte-Gemmes. Les témoignages les plus visibles sont les affleurements rocheux le long du bras :

- au droit de l'hôpital psychiatrique, en bordure des quais;
- l'existence du rocher du Grand Jard, large émergence rocheuse située quelques centaines de mètres à l'amont du débouché de l'Authion, qui est visible dans le bras de Sainte-Gemmes sur les 3/4 voire au 4/5 de sa largeur.

VII-3 – Etude des sondages et relevés topographiques

Ces constats visuels ont été confirmés par une documentation riche existante en sondages et levés topographiques des affleurements dans le secteur d'étude.

Le Laboratoire Régional des Ponts-et-Chaussées d'Angers a mené deux campagnes de reconnaissance du substratum sous le lit de la Loire pour le compte du Service Hydrologique Centralisateur du bassin de Loire-Bretagne:

- en 1986 : « La Loire : Bras de Sainte-Gemmes : reconnaissance des sols et du toit du substratum rocheux » ;
- en 1987 : « La Loire : secteur Saint-Mathurin – La Pointe : reconnaissance des épaisseurs d'alluvions ».

A ces données ont été ajoutés les sondages mis à disposition par le BRGM sur le site Internet Infoterre (base de données géographiques des sondages en France).

L'analyse des sondages révèle une tendance générale à un approfondissement de l'horizon du substratum de la rive droite de la Loire vers sa rive gauche. En d'autres termes, le toit du substratum est plus haut en rive droite qu'en rive gauche de la Loire. Ce constat confirme les observations faites sur le terrain quant aux affleurements rocheux le long de la rive droite du bras de Saintes-Gemmes. Dans ce secteur le substratum joue un rôle important dans l'évolution de la Loire.

Seuls les sondages qualifiés de fiables ont été exploités. Comme pour le profil en long des fonds, le profil en long de l'horizon du substratum est effectué pour chaque bras en prenant également le point le plus bas des sondages sur un même profil.

Il faut bien préciser ici que le nombre de sondages par profil est de l'ordre de 2 ou 3 et que les profils sont très espacés. Par conséquent, sachant que l'horizon d'un socle géologique de ce type est très irrégulier, comme expliqué plus haut, ces profils ne peuvent prétendre représenter la surface de du substratum sous le lit de la Loire. Toutefois, ils permettent de dégager des tendances très nettes qui éclairent l'analyse du fonctionnement hydrosédimentaire du secteur.

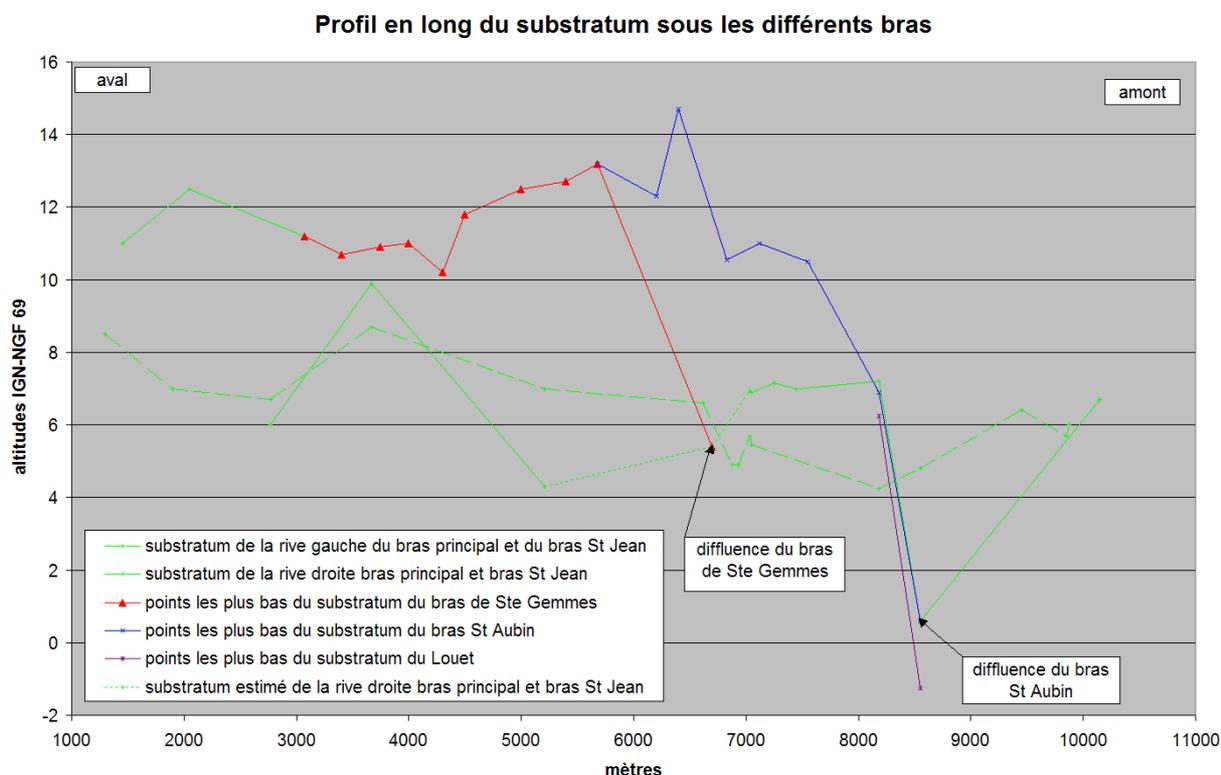


Figure 34. Profil en long du substratum

La lecture de ces différents profils (figure 34 et annexe 6) amènent les constats suivants :

- dans les deux bras de Ste-Gemmes et St-Aubin, l'horizon du substratum remonte très rapidement dès leur diffluence, l'écart avec le bras principal atteignant rapidement (en 1 kilomètre environ) des valeurs variant de 4 à 8 m ;
- deux points hauts caractérisent ce décalage : altitude 14.70 m dans le bras St Aubin, à l'aval du pont de Verdun ; et 13,20 m dans le bras de Ste-Gemmes à proximité de l'affleurement du Grand Jard.

Ces deux points durs limitent l'incision de ces deux bras.

Pour s'en persuader, le graphique ci-après (figure 35 et annexe 6) superpose les profils du substratum à ceux (levés en 2007) du fond dans les différents bras.

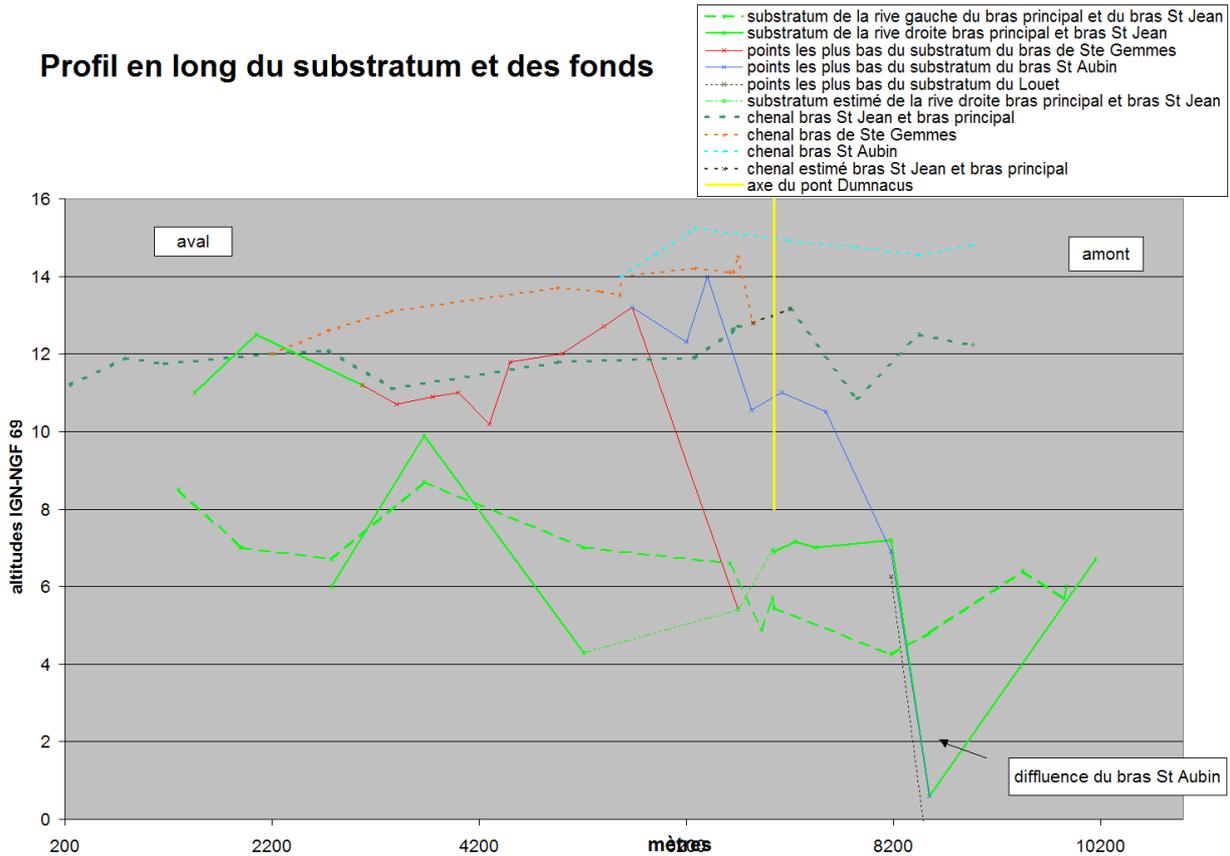


Figure 35. Profil en long du substratum et des fonds

Cette superposition met en évidence les points suivants :

- au droit du point dur du bras St-Aubin (altitude 14.0 m), l'épaisseur de sédiments dans le chenal est faible, de l'ordre de 1,25 m : la capacité d'incision du bras est donc considérablement limitée par ce point dur. Ceci laisse penser que le bras a d'ores et déjà atteint son profil d'équilibre qui est fixé par cette remontée du substratum (non visible) puisqu'à l'amont de ce point jusqu'à l'entrée du bras, la pente du fond est proche de 0 ;
- au droit de ce même point dur du bras St-Aubin (à 14.0 m), le point bas du bras principal atteint la cote 13 m, soit 1 m de moins ; cela signifie que même si la couche de sédiments est vidangée du bras St-Aubin, celui-ci restera perché par rapport au bras principal ;
- au droit du point dur du bras de Ste-Gemmes (cote 13,20 m au rocher du Grand Jard), la présence de sédiments se limite à la rive gauche (le rocher affleure sur les 2/3 du bras) et ce sur une très faible épaisseur. La capacité d'incision de la partie amont du bras de Ste-Gemmes est donc contrôlée par ce point dur. Comme pour le bras St-Aubin : il est quasi certain que le bras de Ste-Gemmes à l'amont de ce point a déjà atteint son profil d'équilibre puisque la pente du fond entre le rocher du Grand Jard et l'entrée du bras est proche de 0. En revanche, à l'aval de ce point jusqu'à la confluence, l'épaisseur des alluvions augmente en rive gauche ;
- au droit de ce même point dur du bras de Ste-Gemmes (altitude 13,20 m), le point bas du bras principal (ici le bras St-Jean) est toujours inférieur à 12 m, soit au minimum 1 m plus bas. Ce constat demeure valable sur toute la partie aval jusqu'à la confluence des deux bras ; cela signifie que même si la couche de sédiments est vidangée du bras de Ste-Gemmes, celui-ci restera perché par rapport au bras principal. Cette analyse est également illustrée par la figure 36 (et annexe 6) où l'on voit que le rocher du Grand Jard crée un seuil plus haut que la cote actuelle des fonds à l'entrée même du bras Saint-Jean ;
- l'épaisseur **estimée** d'alluvions dans le bras de Saint-Jean est bien plus importante. Elle est de l'ordre de 4 m sur une grande partie de la zone étudiée. Elle se réduit au PK 3700 où la remontée du substratum est très nette sur chaque rive du bras, ne laissant vraisemblablement plus qu'une épaisseur d'alluvions de 1 à 2 mètres. Ces points durs sont repérés par sondage à la cote 9,90 m en rive droite et 8,70 m en rive gauche ; le chenal est largement au dessus de ces cotes.

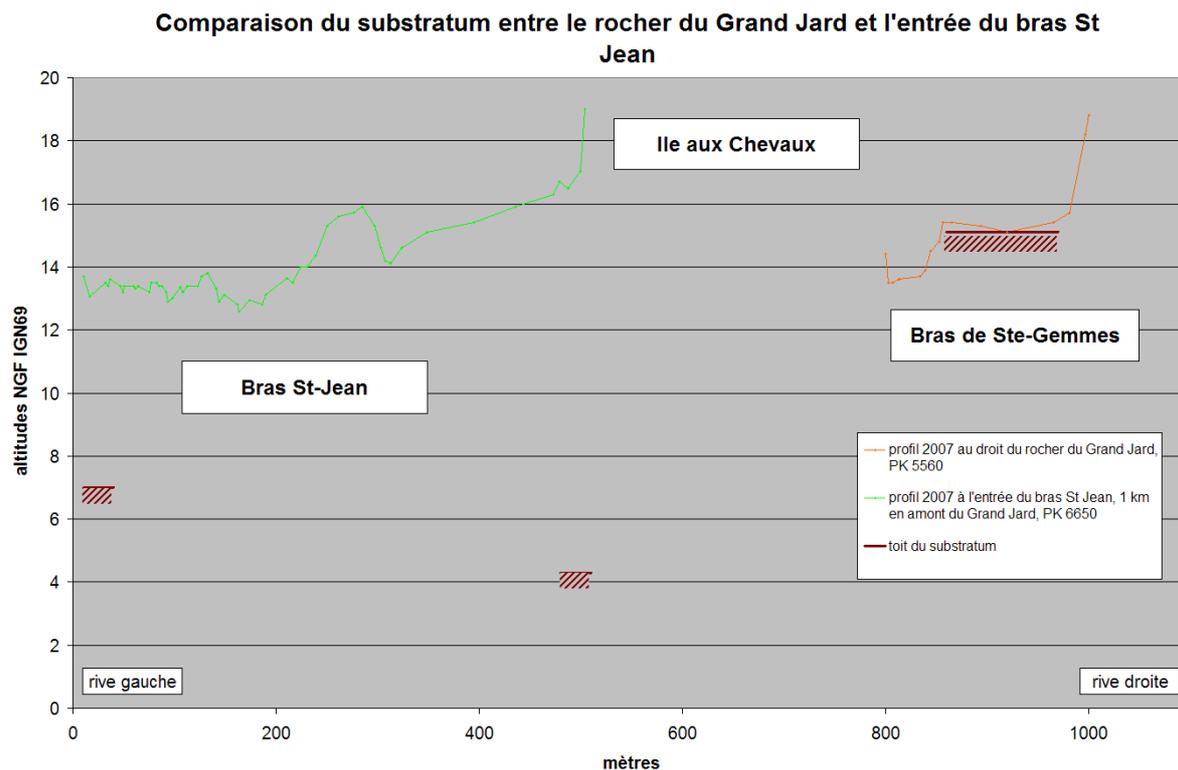


Figure 36. Illustration de l'effet « seuil » joué par le rocher du Grand Jard

VII-4 – Conclusions

Il apparaît que **le bras St-Aubin et le bras de Ste-Gemmes à l'amont du rocher du Grand Jard sont aujourd'hui bloqués dans leur évolution morphologique**. Le substratum sub-affleurant, voire affleurant par endroit, empêche désormais tout approfondissement de ces deux bras, tandis que le bras principal, déjà plus profond que les deux bras secondaires (et par endroit même en-dessous de leur substratum), continue de s'approfondir.

Ces constats sur la situation actuelle rejoignent ceux déduits de l'évolution respectives des fonds des deux bras au chapitre VI-2. **Ce recoupement de la géologie et de la morphologie fluviale a permis de confirmer le rôle prépondérant joué par les affleurements rocheux des bras secondaires (Saint-Aubin et Sainte-Gemmes) dans l'évolution constatée du lit de la Loire.**

VIII. Les enseignements des études et travaux passés

Les inquiétudes des communes riveraines autour de la déconnexion du bras de Sainte-Gemmes ne sont pas récentes, que ce soit pour des raisons sanitaires, paysagères et de sécurité vis à vis des crues de la Loire. Des études ont déjà été réalisées par le passé.

Au cours des recherches dans les archives des différents services, trois études particulières ont attiré notre attention :

- l'étude menée par le Service Maritime et de Navigation (SMN) de Nantes en 1973 : « *Amélioration de l'écoulement des eaux dans le bras de Sainte-Gemmes-sur-Loire – Construction d'un épi en tête de l'île aux chevaux* ». Les solutions techniques proposées sont intéressantes à considérer et à regarder à la lueur des connaissances actuelles. L'étude des impacts et l'efficacité à long terme de ces solutions a en revanche été peu poussée ;
- la série d'études menées par le LCHF puis la SOGREAH dans les années 1980/1990 pour le compte de l'EPALA dans le cadre du projet « *Aménagement du bras de Saint-Aubin et du bras de Sainte-Gemmes.* » Des études préalables suivies de la mise en œuvre d'un modèle réduit hydro-sédimentaire et d'un modèle hydraulique numérique avaient accumulé des connaissances riches et poussées sur le fonctionnement du lit de la Loire dans ce secteur et proposé des solutions ambitieuses – et lourdes – caractéristiques de cette époque.
- l'étude « *Évaluation des travaux de restauration et d'entretien* » confiée par le SMN au bureau d'étude SCE. Son intérêt réside dans l'analyse des effets qui ont suivi les travaux importants menés sur le lit des deux bras entre 1994 et 1999.

Les éléments techniques de travaux ont été repris ici pour compléter le travail mené par le LRPC de Blois et confirmer certains aspects importants du diagnostic.

VIII-1 Evolution des bras jusqu'à aujourd'hui (LCHF/SOGREAH années 1980-1990)

L'évolution des bras telle qu'expliquée au chapitre VI.3 avait déjà été constatée et analysée par la SOGREAH. Leur analyse s'était basée sur des données dont nous n'avons pas retrouvé trace⁶ :

- plan de sondes (=levés bathymétriques) de **1898** collecté auprès du Service de Navigation de la Loire à Angers ;
- levé bathymétrique de 1980, établi par SIG ;
- profils bathymétriques de 1985 et 1987 réalisés par l'EPALA.

Les données sources n'ayant pas été retrouvées, et disposant par ailleurs d'autres campagnes de mesures, elles n'ont pas été exploitées dans la présente étude. La figure 37 (à mettre en regard de la figure 32 du chapitre VI.3.6) a été reprise du travail de la SOGREAH⁷.

⁶ le transfert de la mission de gestion du lit de la Loire de la subdivision navigation d'Angers au centre de Service Maritime et de la Navigation de Nantes, puis à la DDE 49 n'ont pas facilité la recherche de ces documents anciens dont certains ont été transmis pour partie aux Archives Départementales 44 et pour partie aux Archives Départementales 49.

⁷Page 18 du rapport intitulé : « Aménagement du bras de Saint-Aubin et du bras de Sainte-Gemmes – Etudes d'impact, mise à jour Dossier, SOGREAH, août 1993 »

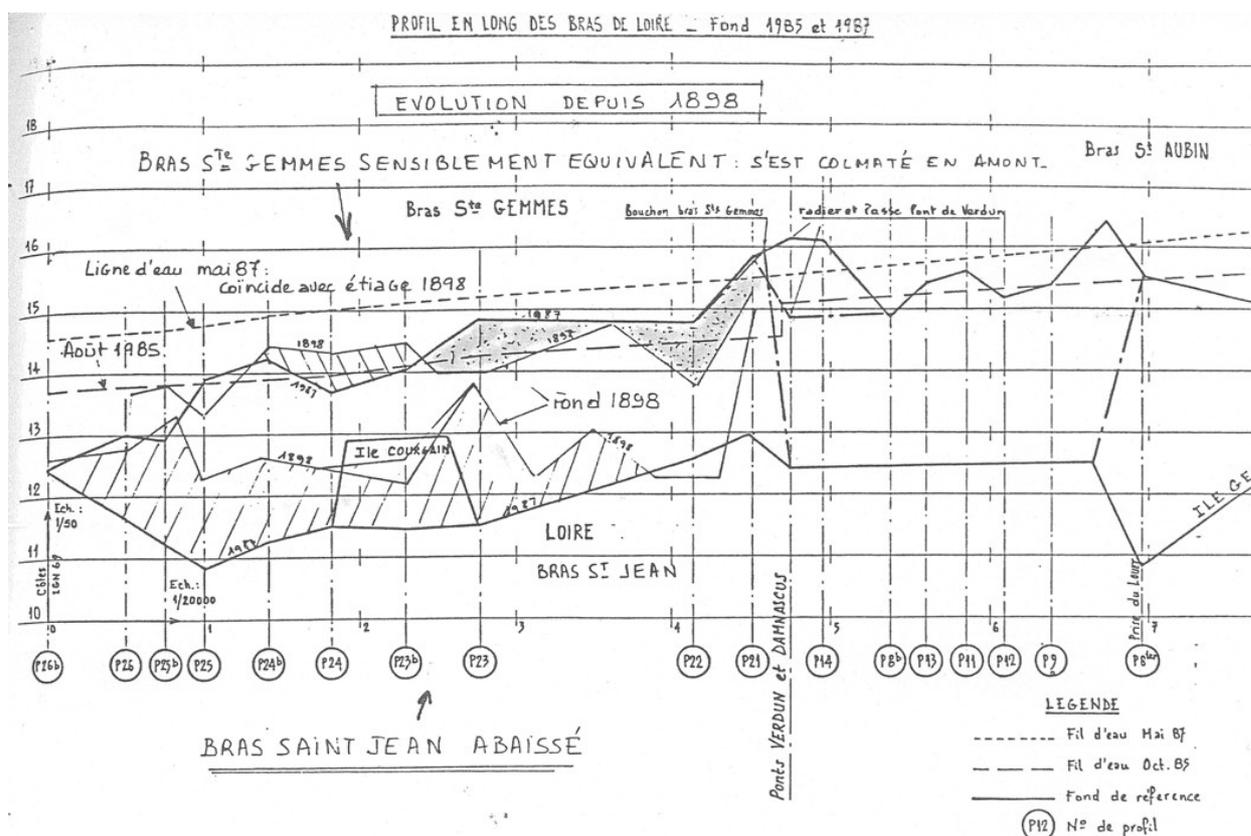


Figure 37. Evolution du profil en long des bras de Loire, rapport SOGREAH (à comparer à la figure 32)

Il est d'autant plus probant de constater qu'avec des jeux de données différents, les conclusions sont globalement les mêmes.

Le rapport aboutit à la même analyse que la nôtre: « Dans le secteur des Ponts-de-Cé, contre toute attente, peu de variations peuvent être constatées sur les bras de Sainte-Gemmes et de Saint-Aubin depuis le siècle passé. En revanche, le bras Saint-Jean a manifestement subi un approfondissement de l'ordre de 1,5m à 2m ... »⁸. Plus loin, pour résumer les mécanismes sédimentaires passés « Cet abaissement du bras [de Saint-Jean] a donné le sentiment d'un ensablement des bras secondaires qui, d'une certaine façon, ne correspond pas à la réalité, car les cotes topographiques n'ont pas varié »⁹.

Enfin, le profil en long déduit du plan de sondes de 1898 montre qu'à la fin du 19^e siècle, le bras de Saint-Jean présentait des fonds en moyenne 1 à 1,5 m plus bas que ceux du bras de Sainte-Gemmes, ce qui repousse le processus de bascule entre les deux bras avant le début du XX^e siècle.

VIII.2. Influence du substratum et moyens techniques d'y remédier (SMN , LCHF/SOGREAH)

VIII.2.1. Etude SMN 1973

Une étude avait été menée en interne au service gestionnaire du lit de la Loire, le Service Maritime et de Navigation de Nantes, à la demande de la commune de Sainte-Gemmes-sur-Loire en 1973. Un dossier intitulé : « Amélioration de l'écoulement des eaux dans le bras de Sainte-Gemmes-sur-Loire – Construction d'une épi en tête de l'île aux Chevaux - Enquête hydraulique » a été retrouvé pour les besoins de la présente étude.

⁸ Page 19, même rapport

⁹ Page 22, même rapport

Ce travail avait été mené sur la base de connaissances du site et d'un levé bathymétrique réalisé à cet effet le long des deux bras. En revanche, aucune étude hydraulique et sédimentologique poussée n'avait été réalisée.

La présence du rocher du Grand Jard avait été repérée comme étant un obstacle-clé responsable de la faible alimentation du bras en basses eaux. Son arasement avait été évoqué mais rejeté par le SMN car « *il apparaît que l'opération de déroctage à réaliser serait très onéreuse sans apporter de solution certaine puisque les cotes à l'entrée du bras sont plus hautes que celles du rocher* »¹⁰. Le point dur est donc bien identifié à l'époque (figure 38) mais son rôle mal appréhendé puisque c'est bien la présence du rocher qui est responsable des cotes du lit à l'amont et en particulier à l'amont du bras. La combinaison de la suppression du rocher et d'une campagne lourde de déblaiement des dépôts entre celui-ci et l'entrée du bras n'est pas évoquée.

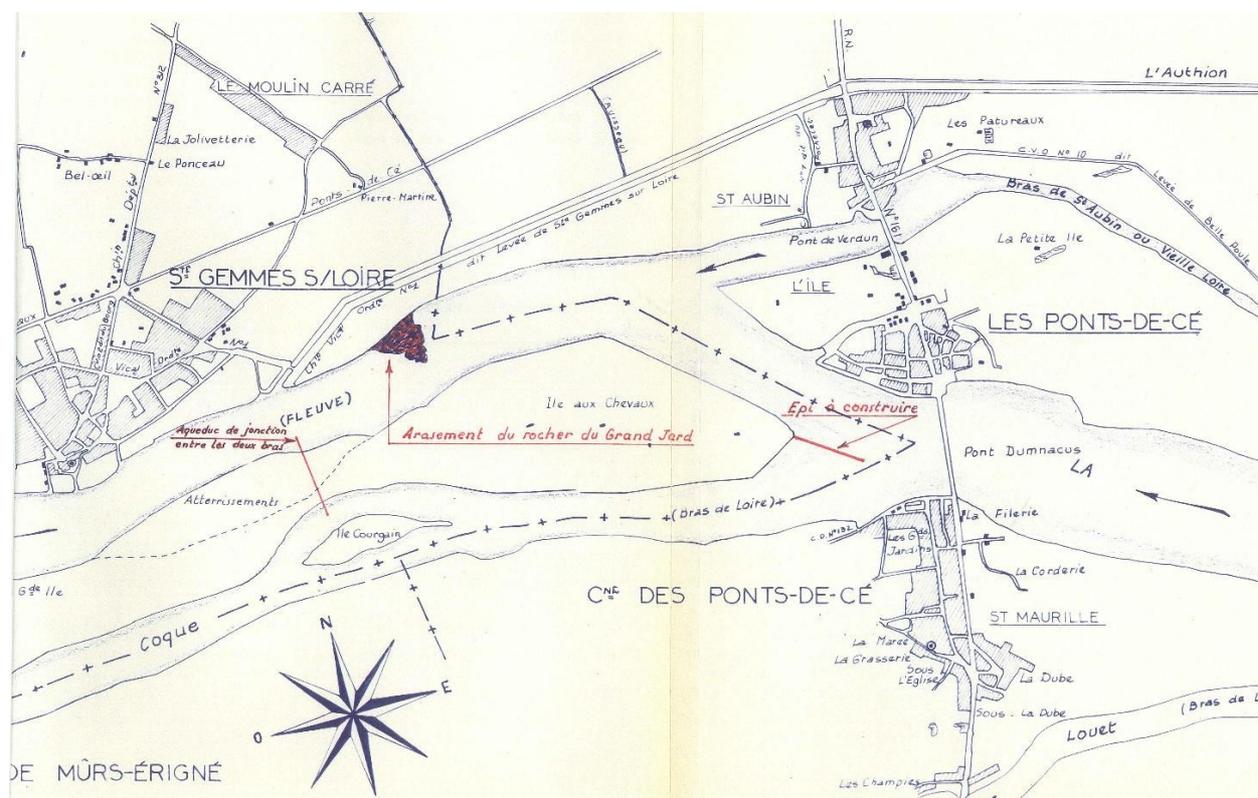


Figure 38. Trois solutions techniques étudiées par le SMN en 1973 : 1) Déroctage du Grand Jard, 2) aqueduc de jonction entre les deux bras 3) épi à l'amont de l'île aux chevaux. Extrait du dossier « Amélioration de l'écoulement des eaux dans le bras de Sainte-Gemmes-sur-Loire – Construction d'une épi en tête de l'île aux Chevaux - Enquête hydraulique »

Pour contourner le problème, il a alors été envisagé « *la pose d'une buse en travers de l'île aux Chevaux [dans sa partie médiane la plus étroite] afin de faire communiquer les deux bras du fleuve* »¹⁰. (figure 38) Cette solution est également abandonnée car la présence d'un atterrissement important prolonge l'île sur son flanc droit et alors la buse « *devrait s'accompagner par ailleurs d'une saignée dans l'atterrissement, saignée dont le maintien serait aléatoire.* »¹⁰

Par ailleurs, cette solution n'intègre pas le fait que même à l'aval du Grand Jard, le substratum reste subaffleurant sur des parties du lit. En particulier devant les quais de l'hôpital psychiatrique, les affleurements sont nombreux. Ainsi, si cette solution aurait été capable de mieux alimenter l'aval du bras de Sainte-Gemmes et de remobiliser une partie de ses sédiments, l'ensemble du bras n'en aurait pas été mobilisé pour autant, en particulier la partie longeant les quais.

¹⁰ lettre du 22 février 1973 du SMN à M. le Maire de Sainte-Gemmes-sur-Loire

La solution finalement retenue consistait « à l'aide d'un épi construit à la tête de l'île aux chevaux », à dériver dans le bras de Sainte-Gemmes une partie des eaux qui, actuellement, passent en totalité dans le bras de Saint-Jean-de-la-Croix en période d'étiage. »¹⁰

Si la partie hydraulique de ce projet est évoquée, estimant une répartition des débits d'étiage de la Loire entre les deux bras une fois l'épi mis en place, en revanche l'aspect sédimentaire dont on a vu combien il était contrôlé par la présence des affleurements rocheux n'est pas évoqué dans le mémoire explicatif. L'épi projeté (figure 38) n'est pas un seuil de fond barrant l'entrée du bras mais bien un épi déflecteur dirigeant les courants vers le bras de Sainte-Gemmes. Il est alors à craindre que cet épi non seulement ne bloque pas la charge sédimentaire de fond entrant déjà dans le bras de Sainte-Gemmes mais qu'il capte une partie une partie de la charge de fond qui aujourd'hui se dirige vers le bras de Saint-Jean. Le gain hydraulique risque donc de se combiner avec un apport supplémentaire de sédiments qui peut annuler à terme le gain hydraulique. **En l'absence d'étude plus poussée, la mise en œuvre de cette solution aurait été très hasardeuse.**

VIII.2.2. Etudes LCHF/SOGREAH (Années 1980-1990)

Les études menées dans les années 1980-1990 par le LCHF puis la SOGREAH avaient évidemment observé la proximité du substratum, en particulier sa plus nette manifestation : le rocher du Grand Jard. La campagne de reconnaissance du substratum menée par le Laboratoire Régional des Ponts-et-Chaussées d'Angers et utilisée dans la présente étude est d'ailleurs citée dans leurs travaux.

Toutefois, l'importance de cet obstacle n'a semble-t-il pas arrêté la SOGREAH et ne fait pas l'objet de discussions particulières quant à son rôle dans la situation actuelle.

Ainsi, le projet retenu comprend « un creusement des bras de Saint-Aubin et de Sainte-Gemmes sur une largeur de 75 m en amont du pont de Verdun et 100m en aval pour une profondeur moyenne de 2m, représentant un volume de 800 000 m³ »¹¹. Il s'agissait d'une recalibration en largeur et en profondeur des deux bras pour augmenter leur capacité hydraulique.

Le croisement entre le substratum et les fonds actuels (chapitre VII) montre bien que, si ce creusement moyen de 2m de haut sur une largeur d'une centaine de mètres est possible sur une partie de ces deux bras, il n'est pas envisageable au droit des points durs en mentionnés. En particulier le rocher du Grand Jard affleure déjà les 3/4 voire au 4/5 de sa largeur et les sondages laissent penser qu'il reste sub-affleurant sur la partie restante. Ainsi, à moins qu'il ne soit dérocté, il continuera de constituer un point haut non érodable dans le bras de Sainte-Gemmes.

Ce déroctage, après avoir été envisagé dans un premier temps, a finalement été abandonné dans le projet final puisque dans la version 1989 de l'étude d'impact, il est ainsi mentionné : « le rocher du Grand Jard et tous les affleurements rocheux isolés seront conservés »¹².

Par conséquent, les points hauts subsistant et continuant de jouer leur rôle de verrou morphologique, même si le reste du profil en long du bras est abaissé artificiellement par curage, la tendance inévitable est au comblement des zones creusées pour revenir progressivement à la situation actuelle.

Et c'est ce qu'a prouvé le modèle physique conçu par la SOGREAH. Reproduisant à échelle réduite le site et son fonctionnement hydro-sédimentaire, le modèle a permis de simuler l'évolution du lit une fois le projet de creusement effectué pour « tester la pérennité des dragages et leur absence d'impact sédimentologique sur la Loire proprement dite »¹³.

Les résultats des essais sont clairs¹³ : « En leur absence [création de seuils aux entrées des deux bras secondaires] :

¹¹ Page II. 7 du rapport intitulé : « Aménagement du bras de Saint-Aubin et du bras de Sainte-Gemmes – Etudes d'impact, mise à jour Dossier, SOGREAH, août 1993 »

¹² Page 16 du rapport intitulé : « Aménagement des bras de Saint-Aubin et de Sainte-Gemmes – Etudes d'impact, SOGREAH, octobre 1989 »

¹³ Page III.14 du rapport intitulé : « Aménagement du bras de Saint-Aubin et du bras de Sainte-Gemmes – Etudes d'impact, mise à jour Dossier, SOGREAH, août 1993 »

- les sédiments « lourds » en transit dans les basses couches de l'écoulement pénètrent dans les bras élargis et s'y déposent, rendant inutiles l'aménagement mais surtout privant la Loire de son transport solide pendant la durée de recomblement¹⁴ ;
- les seuils de sable actuels [à l'entrée des bras de Sainte-Gemmes et de Saint Aubin] sont également entraînés par le courant, provoquant, en particulier dans le bras de Saint-Aubin une érosion [régressive] du bras Nord de l'île Gemmes et un basculement du lit [du sud au nord de cette île, qui mettrait en péril l'alimentation du Louet]»

La raison de ce retour aux fonds actuels n'est pas explicitée dans l'étude d'impact. On peut toutefois en esquisser la raison. Si les sédiments entrant dans les bras s'y déposent, c'est que les vitesses de l'écoulement ne sont pas suffisantes pour les faire transiter tout au long du bras. L'augmentation des sections d'écoulement recalibrées combinée au maintien des quelques points durs qui contrôlent l'écoulement doivent expliquer la faiblesse de ces vitesses.

Le raisonnement suivi par la SOGREAH est donc le suivant : le gain hydraulique du recalibrage est bénéfique à court terme, mais l'apport naturel d'alluvions qui se déposent dans les deux bras annule progressivement ces effets si le déroctage des points durs n'est pas effectué. **La seule solution viable, en l'absence de déroctage, est de couper ou du moins nettement réduire l'alimentation de ces bras en sédiments.**

C'est la raison pour laquelle le bureau d'études en est venu à proposer la mise en place de barrages ou seuils de contrôle à l'entrée des deux bras de Saint-Aubin et de Sainte-Gemmes. Ces ouvrages permettraient l'alimentation des bras en eau de surface (chargées uniquement de sédiments fins qui ne se déposent pas ou repartent aisément) et bloqueraient les sédiments de fonds, plus lourds, qui seraient sans cela responsables du comblement progressif des bras. Par ailleurs, ils présentent l'avantage de stopper l'érosion régressive à leur amont qui a lieu en leur absence, risquant de modifier le chenal en amont et en particulier la fragile alimentation du Louet. Le projet final ne retient finalement qu'un seul ouvrage à l'entrée du bras de Saint Aubin.

En conclusion, le projet proposé à l'issue des études de la SOGREAH ne minimise pas l'influence-clé du substratum sur la morphologie de la Loire dans le secteur d'étude. Après avoir projeté de dérocter ces points hauts (abandonné pour des raisons environnementales), la SOGREAH **contourne le problème en projetant purement et simplement de supprimer le transport solide dans les bras de Sainte-Gemmes et Saint-Aubin.**

Dans ce cas, les opérations de dragage dans les deux bras secondaires, aussi peu pertinentes soient-elles du point de vue morphologique et naturel (non pérennes en cas d'alimentation normal du bras en sédiments), seraient viables et resteraient efficaces dans le temps.

VIII.3. Retour d'expérience sur les travaux de terrassement de 1994-1999, (SCE, 2001)

Le projet proposé par la SOGREAH à l'EPALA n'a pas été mis à exécution. Toutefois, au cours des années 90, le Service Maritime et de Navigation (S.M.N.) de Nantes a fait effectuer des travaux d'entretien et de restauration dans le lit des bras de Saint-Aubin et de Saintes-Gemmes dans le but d'amorcer une réactivation de ces deux bras.

Le bureau d'étude SCE, s'appuyant sur la connaissance des travaux effectués et sur deux campagnes de levés topographiques dans les deux bras (1990 : avant travaux et 2000 : après travaux), a réalisé un bilan de ces interventions pour le compte du SMN. Les grandes conclusions de ce travail sont reprises ici¹⁵.

¹⁴ durée estimée à moins de 10 ans en page 5 du rapport intitulé « Aménagement du bras de Saint-Aubin et du bras de Sainte-Gemmes – Notice de présentation, SOGREAH, août 1993 »

¹⁵ Rapport intitulé : « Bras de Saint-Aubin et de Sainte-Gemmes, Évaluation des travaux de restauration et d'entretien », SCE, juin 2001

VIII.3.1. Nature des travaux effectués

Les travaux effectués sont de 2 natures :

- **entretien du lit** : dévégétalisation, enlèvement des embâcles qui s'accumulent en hautes eaux, scarification de la surface du lit pour faciliter la remobilisation des sédiments et empêcher la prise des végétaux ;
- **terrassement du lit** : enlèvement de volumes de sédiments dans les deux bras dont les éléments grossiers ont été reversés dans le bras principal

En ce qui concerne les terrassements, les « bouchons » sédimentaires identifiés dans les travaux de la SOGREAH ont été principalement visés.

Le « bouchon » sableux en aval du bras de Saint-Aubin entre le pont de Verdun et la confluence avec le bras de Sainte-Gemmes a fait l'objet de 3 campagnes de décaissement des alluvions visant à en améliorer la capacité de sortie du bras et donc sa dynamique:

- 85000 m³ en 1995 sur l'ensemble de cette zone ;
- 60000 m³ en 1996 à l'extrémité aval de cette zone, au débouché dans le bras de Sainte-Gemmes ;
- 24000 m³ en 1999, à l'aval immédiat du pont de Verdun et au débouché.

Soit au total de **170 000 m³ en 4 ans**. Considérant grossièrement que cette zone est longue de 1000m et large de 100m, **c'est l'équivalent d'une hauteur moyenne de 1.7 m de sable qui a été enlevée en 4 ans sur ce bouchon.**

Le bouchon sableux en amont du bras de Sainte-Gemmes a fait l'objet d'une campagne de terrassement de **30000 m³** en 1997 visant à améliorer l'alimentation de ce bras.

Les atterrissements successifs dans la partie aval du bras de Sainte-Gemmes ont fait l'objet d'une campagne de terrassement de **15000 m³** en 1996 visant à développer un chenal de sortie privilégié.

Soit un total de 45000 m³ en entrée et sortie du bras de Sainte-Gemmes.

VIII.3.2. Impact et pérennité

Pour juger de l'efficacité et de la pérennité des travaux effectués, le rapport de SCE s'appuie sur une comparaison des deux campagnes topographiques menées sur les 2 bras en 1990 et en 2000.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- malgré l'enlèvement artificiel de 170 000 m³ + 45 000 m³ = 215 000 m³ de sédiments, le bilan sédimentaire total sur la décennie est de + 150 000 m³ sur les deux bras. « ... les fonds des bras ont eu tendance sur 10 ans à remonter d'une classe altimétrique, c'est à dire entre 10 et 80 cm »¹⁶.
- Sur la zone la plus terrassée à l'aval du bras de Saint-Aubin, « les fonds 2000 présentent des niveaux majoritairement inférieurs à ceux mesurés en 1990 »¹⁵.

Ce deuxième point reste toujours visible en 2007 où le profil levé par le LRPC de Blois dans ce secteur demeure plus bas que le levé de 1990 (voir VI-3-2).

L'exploitation des levés topographiques ponctuels entre les opérations de terrassement apporte des éléments supplémentaires¹⁷ sur cette zone la plus terrassée:

- sur les 85000 m³ terrassés en aval du bras de Saint-Aubin en 1995, 43000 m³ se sont redéposés durant l'hiver 1995-1996, soit plus de la moitié en un seul hiver ;
- sur les 24000m³ terrassés en du bras de Saint-Aubin en 1999, 14000m³ se sont redéposés durant l'hiver 1999-2000, soit là également plus de la moitié en un seul hiver.

¹⁶ page 74 du même rapport.

¹⁷ Page 80 du même rapport

Et SCE de conclure¹⁸ : « les zones de terrassement fonctionnent donc comme des pièges à sédiments ».

D'une part les terrassements effectués se comblent rapidement et d'autre part ils n'amorcent pas le déséquilibre morphologique souhaité puisqu'aucun impact notable sur le reste des bras (par érosion régressive ou progressive) n'est constaté.

On retrouve dans ces conclusions issues d'interventions « grandeur nature » sur le lit les mêmes analyses :

- auxquelles était arrivée la SOGREAH par le modèle réduit : en l'absence de déroctage des points affleurant du substratum et en l'absence d'ouvrages empêchant l'intrusion des sédiments dans les bras de Sainte-Gemmes et de Saint-Aubin, tout projet de creusement du lit est voué au comblement progressif ;
- auxquelles arrive la présente étude : la présence d'affleurements rocheux non érodables figent le profil en long des bras en amont du rocher du Grand Jard. Toute augmentation de la capacité hydraulique à leur amont (par creusement du lit) est vouée à l'échec puisque cet affleurement principal constitue la section de contrôle hydraulique et morphologique de ces bras.

Enfin, bien que difficilement quantifiable, les travaux d'entretien (dévégétalisation, scarification, enlèvement d'embâcles) réalisés durant la période 1995-1999 sont jugés bénéfiques par SCE¹⁹ qui y voit un moyen efficace de garder une bonne capacité en crue de ces deux bras et d'assurer une remobilisation des sédiments à défaut de parvenir à réactiver l'ensemble des bras.

IX. Informations complémentaires tirées du suivi du chenal de navigation

Réglementairement, la Loire a été navigable depuis son embouchure jusqu'au bec de Vienne, jusqu'en 1997. C'est par le décret du 13 novembre 1997 qu'elle a été rayée de la Nomenclature des Voies Navigables entre le bec de Vienne et le bec de Maine. Elle reste donc navigable à l'aval de Bouchemaine et, à ce titre, le chenal y est toujours aménagé et entretenu. Les documents cartographiques présentés dans ce paragraphe sont reproduits en plus grand format en annexe 8.

IX-1 – Historique

Sur le secteur de l'étude, peu de renseignements concernant la navigation ont pu être collectés dans les archives. Ils permettent toutefois de dresser cette chronologie sommaire.

Avant 1850 la navigation se faisait sur le bras de Ste-Gemmes :

Des cartes de 1835 indiquent de façon certaine le positionnement du chenal navigable dans les années 1830 (plusieurs tracés superposés datant de 1832, 1834, 1835 sont superposés). En revanche, la date du fond de plan (et donc de la morphologie représentée) est vraisemblablement antérieure à 1835 (figure 39 et annexe 8).

Ces cartes indiquent que le chenal est en rive gauche à l'amont de la diffluence du Louet pour passer ensuite en rive droite et emprunter enfin le bras de Ste-Gemmes. Le rocher du Grand Jard y apparaît comme un obstacle à la navigation puisque le tracé du chenal le contourne systématiquement.

¹⁸ Page 78 du même rapport

¹⁹ Pages 64, 72 et 81 du même rapport

— — — Chenal indiqué en 1835

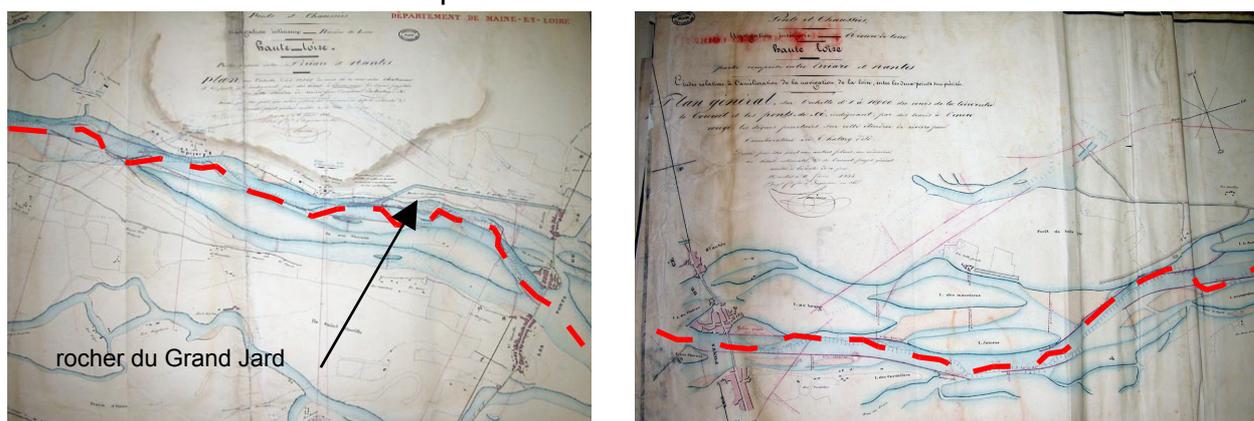


Figure 39. Etudes relatives à l'amélioration de la navigation de la Loire de - 1835 – (source : Conservatoire Régional des rives de la Loire et de ses affluents – document d'origine BNF)

De 1886 à 1889, le chenal navigable est situé dans le bras Saint-Jean

Sans avoir pu retrouver les documents d'origine²⁰, le mémoire de thèse de P CHARRIER fait mention de documents de balisage de la Loire de 1886 à 1906 (p 213 du mémoire). P. CHARRIER a analysé l'évolution du tracé du chenal sur 4 années consécutives : 1886, 1887, 1888 et 1889. Cette analyse menée des Ponts-de-Cé à Nantes met en évidence que «certes, les variations de tracé du chenal sont le trait général [sur le cours de la Loire]. Mais elles n'en mettent pas moins en évidence d'intéressantes zones de stabilité qui en deviennent presque étonnantes de fixité» (page 215). Parmi ces zones où le chenal est stable est cité le bras sud de l'île aux Chevaux, c'est à dire le bras Saint-Jean.

En 1933, le chenal navigable est situé dans le bras Saint-Jean

La première information retrouvée dans le cadre de la présente étude indiquant le bras St-Jean comme le bras navigable date de 1933. Dans ce document de balisage, il est fait mention d'une « barre rocheuse » (rocher du Grand Jard) faisant obstacle à la navigation dans le bras de Sainte-Gemmes. On retrouve cette position du chenal en 1944 (figure 40 ci-dessous et annexe 8).

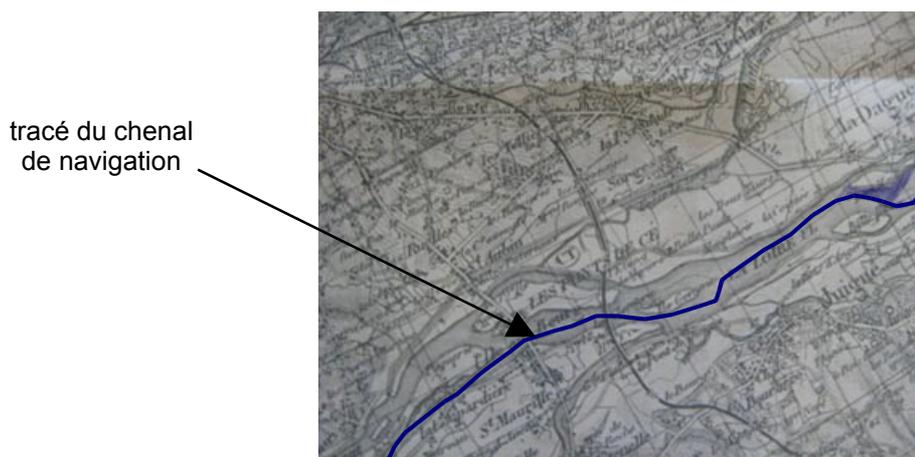


Figure 40. extrait d'un plan de 1944 indiquant le chenal navigable (source : Archives Départementales du Maine et Loire)

²⁰ documents certainement consultables aux archives départementales de Loire-Atlantique, archives fermées pour travaux jusqu'en mai 2008 qui n'ont pas été consultées.

Conclusions

Bien que cette chronologie ne soit pas sans « trou », on peut en déduire que **le basculement du chenal de navigation du bras de Ste-Gemmes vers le bras St-Jean est donc antérieur à la réalisation en 1952 des épis en rive gauche et au recalibrage de la rive droite en amont du pont Dumnacus.**

Sa fixité étonnante durant quatre années consécutives à la fin du 19^e siècle dans le bras Saint-Jean, alors que sur le reste du cours de la Loire aval la mobilité du chenal est la tendance générale, est **un sérieux indice qui amène à penser que cette bascule a eu lieu avant le 20^e siècle**, et donc avant même la chenalisation du lit de la Loire à l'aval de la Pointe (début 20^e siècle).

Ce constat recoupe celui effectué à partir des documents de la SOGREAH (voir figure 37) qui exploitent un levé bathymétrique de 1898 que nous n'avons pas pu retrouver, témoignant d'un bras de Saint-Jean plus profond que celui de Saint-Gemmes en 1898.

IX -2 – Travaux réalisés pour la navigation

Les épis qui contraignaient le courant à aller vers la rive opposée, ont été décrits au paragraphe II-2-9 . La mise en place d'un alignement de pieux sur le bras St Jean à l'aval de l'île aux Chevaux du PK 2650 au PK 2800 est intéressante puisque ces pieux sont les restes d'un ancien épi ou d'un système de barrage dit « barrage Audouin » (cf. plans qui daterait des années 1920). Le fond sableux, endémique au secteur, devait vraisemblablement gêner la navigation, ce qui a provoqué la construction de cet ouvrage. La construction de cet épi n'a pas pu être datée. Elle est toutefois antérieure à 1940 et semble intimement liée au fait que le bras de Saint-Jean soit devenu, à cette époque, le bras navigable.

X. Informations complémentaires tirées de la construction du canal de l'Authion

X-1 – Historique

L'histoire de la construction du canal de l'Authion permet de connaître également le rôle qu'a joué le substratum dans le secteur d'étude depuis environ deux siècles.

Comme il a été dit l'Authion, coule depuis sa source dans la vallée même de la Loire dont il est séparé en crue par une levée dite « levée d'Authion ». Drainant le val rive droite, son fonctionnement hydraulique est fortement lié à celui de la Loire et de sa nappe alluviale. Il débouchait à l'origine en Loire à l'amont des Ponts-de-Cé en se ramifiant dans une zone de marais (secteur de Sorges aux Ponts-de-Cé) sans doute dû à la remontée du substratum. L'assèchement de la partie aval du val d'Authion, qui était régulièrement inondée par le remous de la Loire en crue ou par simple remontée de la nappe, a constitué un enjeu fort du développement agricole de la région angevine. Des projets de canalisation de l'Authion dans sa partie terminale se sont succédés à cette fin.

Dans l'ouvrage intitulé « Histoire des Ponts-de-Cé » par l'Abbé Bretaudeau, il est indiqué que jusqu'en 1831, il existe « *un premier canal, dit des Champs-Fleuris, qui subsista un siècle et fut comblé en 1831* » (p199 de l'ouvrage). Il se jetait dans la Loire « *869 mètres au-dessus de Saint-Aubin* » (p199 de l'ouvrage) donc dans le bras de Saint-Aubin, à l'amont du pont de Verdun actuel. Ce canal, vraisemblablement creusé au cours du XVIII^e ème siècle, est représenté sur le plan de Louis de Regemorte daté de 1755 (représentée ci dessous, figure 41) et sur la carte de Cassini.

Ancien canal des Champs-Fleuris, comblé en 1831 après un siècle de fonctionnement



Figure 41. La Loire à l'amont des Ponts de Cé vue par Louis de Regemorte vers 1755 – la vue a été retournée pour une meilleure compréhension du secteur – (source : « portraits de Loire » édité par le Conservatoire Régional des rives de la Loire et de ses affluents – document d'origine BNF)

Il est précisé dans ce même ouvrage que ce canal était peu efficace dans son rôle de drainage des eaux de l'Authion car « un banc de rocher transversal qu'on négligea de couper formait un barrage naturel dont la hauteur élevait d'autant le niveau des eaux supérieures, et les sables du bras de Saint-Aubin, abondants sur ce point, obstruaient de plus l'embouchure même de ce canal » (p200 de l'ouvrage). Malgré un agrandissement ultérieur du pont de Sorges, le val d'Authion ne fut pas mieux drainé. Un nouveau projet de canal fut alors conçu par le comte d'Essuile qui « n'y vit pas d'autre solution que [...] de creuser second canal qui devait aller du pont de Sorges jusques au-dessous des rochers et des moulins à eau du Grand Jard, au pied du coteau de Saintes-Gemmes ». Les travaux débutèrent en 1827 pour finir en 1832. L'ancien canal fut abandonné en 1831 (figure 42). On retrouve trace sur les plans de 1832 et 1863 à la fois du nouveau canal et des restes de l'ancien

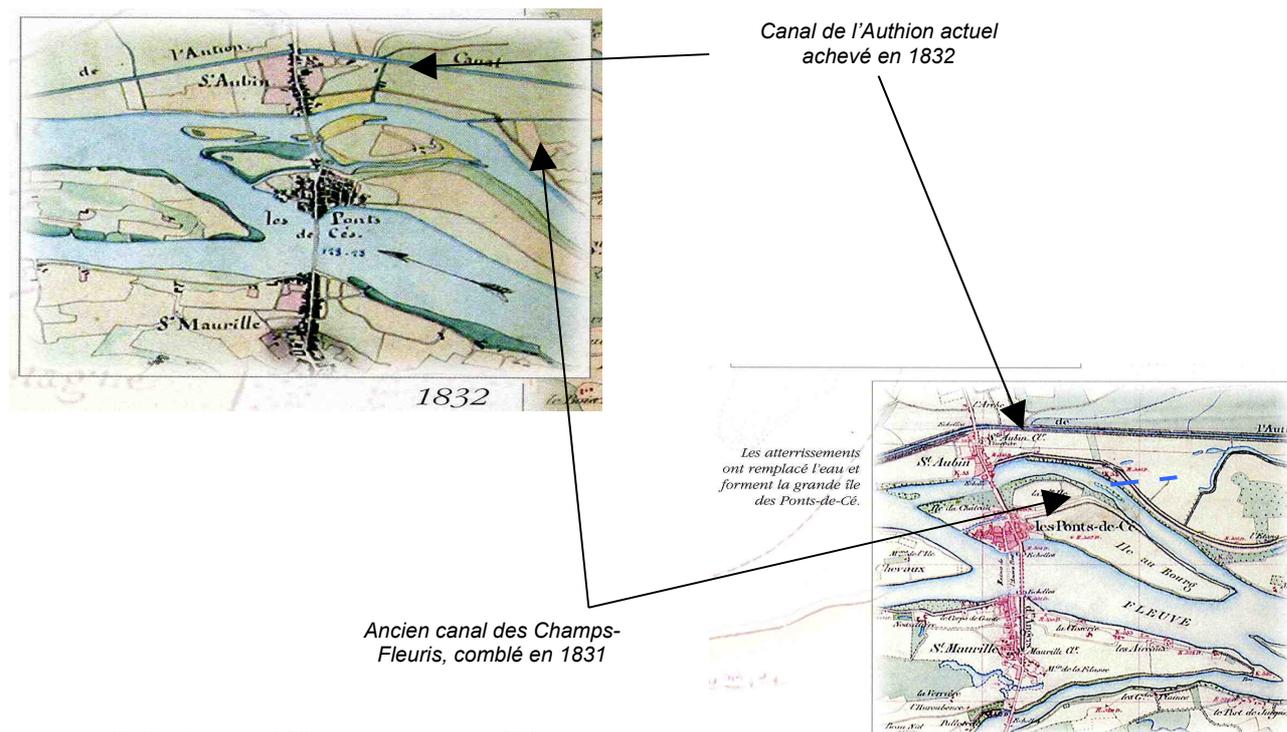


Figure 42. Cartes de 1832 ci-dessus et de 1863 ci-contre

Ces péripéties historiques nous indiquent que la présence d'au moins un affleurement rocheux, proche du débouché de l'Authion d'alors, était déjà source de problème à la fin du XVIII^{ème} siècle et au début du siècle. La localisation du « banc rocheux » évoqué n'est certes pas précisée²¹ mais s'il constituait une gêne, il y a déjà deux siècles, au drainage des eaux de l'Authion, et sans doute également au bon écoulement des eaux et des sédiments dans le bras St-Aubin.

La localisation du débouché du nouveau canal en aval immédiat du rocher du Grand Jard, techniquement plus difficile à réaliser car creusé dans le socle rocheux, laisse penser que le contournement concernait non seulement le « banc rocheux » incriminé mais également le rocher du Grand Jard pour qu'ils ne constituent pas des points trop hauts susceptibles de gêner le drainage des eaux de l'Authion.

X-2 – Conclusions

La contrainte morphologique constituée par le substratum sub-affleurant voire affleurant en rive droite de la Loire sur le secteur d'étude ne date donc pas du XX^{ème} siècle, mais remonte au moins à la fin du XVIII^{ème} siècle. Cela renforce l'idée que, dès cette époque, la Loire était figée morphologiquement en rive droite ne pouvant ni migrer plus au nord, ni approfondir son lit dans ses bras en rive droite.

²¹ les sondages disponibles aujourd'hui laissent penser qu'il correspond à la remontée du substratum localisé dans le bras St-Aubin à l'aval du pont de Verdun ou bien encore du rocher du Grand Jard lui-même dans le bras de Sainte-Gemmes

XI. Conclusions

Géomorphologiquement la Loire est bloquée en rive droite (Nord) par le coteau schisto-quartzitique subaffleurant alors qu'elle a une possibilité d'approfondissement en rive gauche (Sud). **C'est donc dans ce contexte que la Loire a effectué au cours du siècle dernier la seule bascule de lit qu'elle pouvait effectuer dans un contexte général d'approfondissement du lit, c'est à dire de son bras Nord vers son bras Sud.** Le déroulement et les causes de cette bascule sont synthétisés dans les paragraphes suivants sur la base des éléments apportés au cours du rapport (évolution morphologique, évolution de la ligne d'eau, évolutions des fonds et interférence avec la géologie du secteur).

XI-1 – Déroulement chronologique des phénomènes

Jusqu'à la première moitié du 19^e siècle, le bras de Ste Gemmes est le bras navigable (la dernière information recueillie indiquant le chenal navigable dans ce bras date de 1835). Dans la dernière décennie du 19^e siècle, le bras St-Jean est indiqué comme étant le bras navigable, plusieurs années successives. Les levés bathymétriques de 1898 montrent de façon sûre que le bras Saint-Jean présentait déjà des fonds en moyenne 1m plus bas que ceux du bras de Sainte-Gemmes. Sans indication intermédiaire, en mai 1933 (rapport de balisage), le bras navigable est encore également situé dans le bras Saint-Jean. Par ailleurs, le bras St-Aubin apparaît déjà déconnecté en 1926. Enfin, un plan de sondage daté entre 1920 et 1935 montre que le bras Saint-Jean était toujours 1 m plus profond que le bras de Sainte-Gemmes.

Le basculement du chenal du bras de Saint-Gemmes dans le bras St-Jean est donc réalisé au début du 20^e siècle et entamé dès la fin du 19^e siècle. Ces changements morphologiques sont en accord avec les constats faits sur la Loire dès la seconde du 19^e siècle, où il est fait état d'une tendance (encore faible) à l'approfondissement du lit.

Le basculement est donc antérieur aux travaux réalisés en 1951 date à laquelle, à l'amont du pont Dumnacus, des épis en rive gauche et un recalibrage de berges en rive droite sont effectués et il est entamé avant la chenalisation du lit par des batteries d'épis à l'aval du bec de Maine (début 20^e siècle).

Depuis cette bascule de chenal effective dès le début du 20^e siècle, le lit de la Loire a subi un approfondissement très marqué, dû aux travaux de navigation et aux extractions de sable.

- de 1900 à 1960 l'abaissement de la ligne d'eau à la Pointe est de 0.70 m et de 0.12 m au Pont Dumnacus ;
- de 1960 à 1990 l'abaissement de la ligne d'eau à la Pointe est de 0.90 m et de 0.40 m au Pont Dumnacus ;
- de 1973 à 1990 le seuil sableux situé en amont du bras de Ste-Gemmes s'abaisse puis une quasi-stabilité est observée ainsi que la présence d'un palier sub-horizontale entre l'amont du bras de Ste Gemmes et le rocher du Grand Jard ;
- l'abaissement dans le bras St-Jean est de 1.10 m entre 1973 et 2007 (et 1920-1930 ?). Il atteint en moyenne 0,6 - 0,7 m à l'aval du rocher du Grand Jard dans le bras de Ste-Gemmes (et jusqu'à plus d'un mètre au débouché du bras) pour la même période . Les fonds dans le bras St-Jean sont environ 2 m en dessous des cotes du bras de Ste Gemmes qui lui coule sur le substratum au droit du rocher du grand Jard.

C'est bien un abaissement du lit qui a eu lieu dans le bras de Ste-Gemmes à l'aval du Grand Jard et non un ensablement comme la rumeur le colporte, mais, bloqué par le substratum, cet abaissement a été moins important que dans le bras St-Jean. La ligne d'eau s'étant fortement abaissée en Loire à l'aval du bec de Maine comme le montre le détarage des échelles, il s'en est suivi un dénoyage du bras de Ste-Gemmes au profit du bras Saint-Jean.

XI-2 – Les causes de l'évolution du lit

L'origine du phénomène est l'abaissement du fond du lit de la Loire, dont les premières observations remontent à la seconde moitié du 19^e siècle et dont la cadence s'est accélérée au 20^e siècle suite à l'extraction de matériaux, étroitement lié au maintien du chenal de navigation à l'aval du bec de Maine. Cette incision a été moins marquée dans le bras de Sainte-Gemmes, bloqué en altitude par le substratum rocheux, que dans le bras de Saint-Jean, qui lui repose sur une épaisseur importante d'alluvions : le dénivelé entre ces deux bras, existant mais encore faible au début du siècle 20^e siècle, est aujourd'hui de l'ordre de 2 mètres.

Cette incision a entraîné un abaissement de la ligne d'eau de l'ordre de 1.60 m depuis 1900 comme le montre le détarage de l'échelle de la Pointe.

Cet abaissement de la ligne d'eau combiné à l'enfoncement bien plus marqué du bras Saint-Jean a donc abouti à un dénoyage du bras de Ste Gemmes, au profit du bras Saint-Jean.

Il est à noter que le substratum est également sub-affleurant dans le bras St-Aubin mais celui-ci a subi ce phénomène de déconnexion d'avec la Loire dès le XIX^{ème} siècle.

L'érosion régressive et la modification des courants à la diffuence entre les deux bras a sans doute été accélérée par la mise en place des épis et le recalibrage en amont du pont Dumnacus pour faciliter le fonctionnement des prises d'eau en Loire. En témoignent la modification rapide de l'entrée du bras de Sainte-Gemmes dans les années qui ont suivi ces travaux. Cependant, ces aménagements, mis en place en 1951, ont été réalisés bien après que le processus de bascule du chenal n'ait été amorcé : l'enfoncement du lit de la Loire dans le secteur depuis 1960 (rappel : 90 cm à la Pointe) aurait abouti à une situation proche de celle observée aujourd'hui, même si ces aménagements n'avaient pas été réalisés.

Il n'est pas inutile de rappeler ici que la déconnexion du bras de Sainte-Gemmes est loin d'être un cas isolé en Loire. L'incision générale et marquée du lit depuis un siècle a abouti sur de nombreux sites à une simplification du lit du fleuve avec approfondissement d'un bras principal au détriment des autres bras devenus secondaires. **Si dans certains, cas la raison pour laquelle la Loire a creusé dans tel bras plutôt que dans tel autre est peu évidente, les conclusions précédentes montrent que, dans le cas présent, c'est la présence d'affleurements rocheux dans le bras secondaire actuel qui explique l'évolution constatée.**

XI-3 – Influence des gués

Des passages anciens (voies romaines, gué que le « bon roi René » auraient emprunté) sont cités dans les textes anciens.

La construction de gués dans le bras Ste-Gemmes a été quelquefois évoquée par des témoignages comme étant à l'origine du phénomène de déconnexion de ce bras. Il est certain que des gués ont dû être plus ou moins aménagés pour pouvoir se rendre dans l'île aux Chevaux. Aucune trace de ces gués n'a été observée dans le cadre de cette étude²².

Certains gués comme celui qui est situé à l'amont de l'île aux Chevaux ont peut-être été enlevés lors des travaux de creusement du bras de Ste-Gemmes. Si gués il y a eu, les matériaux les constituant se sont ensouillés ou ont été enlevés.

Le fait est encore plus marquant à l'aval du rocher du Grand Jard où aucun gué n'est visible bien que le fond du bras soit descendu de plus de 1 m (à l'aval du bras) depuis 1973. L'incidence de cet abaissement du lit à l'aval du rocher du Grand Jard a été une migration du chenal vers la rive gauche car il ne lui était plus possible de creuser en rive droite, puisque le substratum y affleure (nombreux affleurements visibles au pied des quais le long de l'Hôpital psychiatrique). Si un gué existe toujours, il n'a donc pas empêché la Loire de creuser son lit en se déplaçant migrant vers la rive gauche.

La mise en place de ces gués n'a pas causé de sédimentation.

En fait, le seul obstacle dont l'influence est indéniable dans le bras de Sainte-Gemmes est le rocher du Grand Jard. Son impact est visible :

- sur la ligne d'eau de la Loire : le rocher fait seuil, générant une pente faible de la ligne d'eau à son amont et une brusque augmentation de cette pente à son passage ;
- sur les fonds du bras de Sainte-Gemmes : l'érosion régressive depuis le bec de Maine a affecté le bras St Gemmes par l'aval jusqu'au rocher du Grand Jard, alors qu'elle a très peu touché le lit à l'amont (stabilité du fond), où l'on observe aujourd'hui un niveau des alluvions est pratiquement horizontal jusqu'à l'entrée du bras.

Devant cette influence forte du rocher du Grand Jard, celle imputable aux éventuels gués semble d'un ordre secondaire.

²² pendant laquelle la Loire n'a pas connu d'étiage marqué.

XI-4 – État du lit actuel

Le lit de la Loire divague à l'amont de la Daguenière, mais à l'aval, à l'approche de la commune des Ponts-de-Cé, le lit est figé par les différents points durs :

- naturels comme le substratum dans les bras rive droite ou la butte rocheuse du quartier Saint-Maurille ;
- anthropiques comme les épis, les digues, les ponts (actuels et anciens) et les conduites.

Le bras principal est le lieu de passage de dunes. Le bras St Jean s'est fortement creusé suite à l'érosion régressive. Le bras de Ste Gemmes, n'ayant pu s'abaisser d'autant car affecté par un seuil rocheux, s'est dénoyé. Le dénivelé entre ces deux bras atteint 2 m en moyenne et également 2 mètres à la diffluence.

L'analyse précédente illustre que ce n'est en aucun cas un ensablement qui est à l'origine de cet état.

XI-5 – Evolution envisageable de la morphologie

La proximité du substratum sous le lit actuel du bras de Saint-Aubin (certainement à l'origine de sa déconnexion antérieure à celle du bras de Sainte-Gemmes) qui le bloque dans son approfondissement ne permet pas d'envisager une remise en eau pérenne du bras. **Sa tendance naturelle, comme le montre la nécessité d'entretien régulière à son aval, est à la végétalisation et au comblement progressif.** Le bras St-Aubin alimenté en crue par la Loire et l'Authion peut cependant perdurer comme **bras de décharge efficace s'il continue à faire l'objet d'un entretien régulier** (déboisement, scarification, enlèvement d'embâcles ...).

Le bras de Ste-Gemmes ne peut plus s'approfondir en rive droite (fond rocheux) et en amont du rocher du Grand Jard. Il garde aujourd'hui une très bonne capacité d'écoulement en crue et possède un potentiel d'auto-entretien meilleur que le bras de Saint-Aubin. Il est souhaitable que la ligne d'eau se stabilise au bec de Maine ; dans le cas contraire une déconnexion complète de ce bras pourrait se produire à l'étiage. Les travaux d'entretien régulier du bras sont souhaitables pour limiter la végétalisation qui réduirait sa capacité hydraulique, ce qui serait préjudiciable en crue **où il peut garder comme le bras Saint-Aubin un rôle important de bras de décharge.**

Pour ces deux bras, leurs débits d'alimentation respectifs (ou la cote correspondante à l'échelle du pont Dumnacus) méritent d'être surveillés d'année en année. **Mieux que tout autre mesure bathymétrique ou topographique, le suivi de ce paramètre indiquera la tendance ou non à leur déconnexion.**

Les projets de réduction des épis dans la partie navigable de la Loire (zone expérimentale entre la Pointe et Montjean), ont pour but également de maintenir ou même de rehausser la ligne d'eau d'étiage, ce qui ne peut être que bénéfique pour maintenir le un niveau plus élevé dans le bras St-Jean et donc assurer un écoulement dans le bras de Ste-Gemmes.

Toutefois, l'incision observée depuis un siècle étant de l'ordre de 1,5m, il n'est pas envisageable par une simple réduction de ces épis de revenir à la situation antérieure lorsque ces épis n'existaient pas, d'autant plus qu'il peut être constaté pratiquement partout que le lit de la Loire continue de s'inciser.

A l'amont du pont Dumnacus, la situation après un rapide déplacement du chenal suite aux aménagements lourds de 1951, ne semble pas évoluer. Le système peut être considéré comme figé en plan. Seul le passage de dunes perturbe épisodiquement les données bathymétriques. Cet état de fixité du chenal permet de fait une alimentation régulière du Louet qui en basses-eaux constitue le deuxième bras de Loire en terme de débit écoulé.

XI-6 – Solutions

Les solutions techniques pour rééquilibrer la répartition des débits entre le bras de Saint-Jean d'un côté et le bras de Sainte-Gemmes de l'autre se heurtent au diagnostic exposé aux paragraphes précédents. **Du fait des affleurements du substratum dans les deux bras secondaires, il est physiquement impossible que la Loire parvienne à ré-équilibrer l'alimentation de ses bras par sa propre dynamique et ce même en amorçant son travail par le creusement de chenaux ou le décaissement de points hauts sableux qui se combleront progressivement.**

Dès lors, les solutions envisageables, présentées ci-dessous, ne peuvent être qu'artificielles, entraînant des travaux lourds sur le lit et forçant sévèrement le milieu naturel. Ces solutions ne sont de ce fait pas en phase avec la politique actuelle réglementaire et d'aménagement des rivières.

Les pistes envisageables sont les suivantes :

-creuser sur plus de 1 m de profondeur et sur 1500 m de long le bras de Sainte-Gemmes y compris le rocher du Grand Jard et les rives rocheuses. Sans ce décaissement des points durs, aussi bien les résultats du modèle réduit SOGREAH que l'échec des travaux des années 1990 montrent que tout décaissement d'alluvions aboutira à un retour à la situation actuelle par comblement des zones décaissées. De plus un déflecteur devra être installé en amont à la diffluence pour assurer une alimentation constante en eau. Il n'est pas du tout sûr que ce système assure une pérennité de la circulation dans le bras, une sédimentation peut toujours se produire suite aux apports réguliers lors des épisodes de crues. Il s'agit là de la solution déjà étudiée en 1973 (SMN, épi déflecteur) mais accompagnée d'un nécessaire creusement du bras et du déroctage des affleurements rocheux (projet initial SOGREAH);

-creuser sur plus de 1 m de profondeur et sur 1500 m de long le bras de Sainte-Gemmes, sans toucher au rocher du Grand Jard et les rives rocheuses mais en prévenant tout comblement en supprimant l'alimentation des bras en sédiments de fond. Le projet proposé par la SOGREAH à la fin des années 80 / début des années 1990 tenait de cette piste. Ce sont des barrages-seuils (avec ou sans vannes) à l'entrée des bras de Sainte-Gemmes et de Saint-Aubin qui permettraient de couper l'entrée de transport solide de fond dans ces bras. Il est à noter que ces ouvrages sont proches des chevrettes mises en place au 19e siècle pour les besoins de la navigation marchande, ouvrages sur lesquels les services gestionnaires de la Loire tentent de revenir, en les supprimant totalement ou partiellement, en ce début de 21e siècle.

-créer un chenal dans l'île aux Chevaux (de préférence, dans la partie la plus étroite de l'île, située à mi-île) : il mettrait en communication le bras St-Jean (avec un déflecteur) et le bras de Ste-Gemmes afin d'assurer un écoulement à l'aval de celui-ci. Un déroctage de la rive droite (du côté des quais qui reposent sur des affleurements rocheux) et un creusement du bras seraient alors nécessaires avec les mêmes incertitudes que dans la première solution. Cette solution a aussi déjà été proposée en 1973 (SMN);

-créer un barrage à l'aval de la confluence des bras de Ste-Gemmes et St-Jean pour remonter la ligne d'eau de plus de 1.50 m, avec tous les problèmes de sédimentation et de navigation qui en découleraient. Il serait alors nécessaire de prévoir un barrage mobile avec une écluse, une passe à poissons, une structure de gestion avec des personnels, un entretien régulier, ...

En dehors de leur coût très élevé, ces solutions, en partie déjà proposées dans les études passées, semblent aujourd'hui peu recevables au titre de la Loi sur l'eau :

- la première nécessite le déroctage d'affleurements naturels qui, s'il était envisagé à une époque, apparaît comme très traumatisante pour le milieu naturel aujourd'hui ;
- la seconde nécessite la construction d'ouvrages lourds dans le lit de la Loire. Outre l'aspect paysager, la suppression du transport solide dans les bras est une méthode radicale dont les effets sur le milieu sont mal maîtrisés ;
- la troisième nécessite également le déroctage d'affleurements ;
- la quatrième, en créant un barrage sur toute la largeur de la Loire va à l'encontre des objectifs actuels de protéger la continuité des flux sur la Loire (flux sédimentaires et piscicoles).

Les principaux risques qui leur sont liés sont :

- une déstabilisation des berges et des digues;
- **un impact non maîtrisé sur le bras du Louet** dont la longueur rend sa relation avec le bras principal de la Loire encore bien plus complexe que pour les bras secondaires étudiés au cours de ce travail. En particulier le risque de déconnexion de ce bras au profit du bras de Sainte-Gemmes ne serait pas à exclure;
- une perturbation sévère de la faune et de la flore ;
- la suppression de l'accès pédestre à l'île aux Chevaux ;
- une qualité de l'eau altérée dans le bras St-Jean en cas de construction d'un barrage.

Il est à noter que la solution technique utilisée sur le site expérimental du Fresnes-sur-Loire – Ingrandes-sur-Loire, à la limite des départements du Maine-et-Loire et de la Loire-Atlantique, ne peut convenir dans le cas présent. En effet, la mise en place de seuils dans le bras principal a pour effet de rehausser la ligne d'eau à la séparation des deux bras et donc d'assurer une mise en eau plus régulière du bras secondaire, y créant une chasse des sédiments et donc l'abaissement d'une partie de ce bras. Dans le cas du bras de Sainte-Gemmes, un abaissement du bras n'est pas envisageable du fait des affleurements rocheux : la mise en place de seuils permettra une mise en eau plus régulière mais ne se traduira pas par un rééquilibrage des fonds entre les deux bras comme il est prévu au Fresnes.

Ce genre de seuils pourrait seulement constituer une alternative à l'épi déflecteur proposé plus haut, avec les mêmes limites d'efficacité.

Bien moins ambitieux techniquement mais bien moins coûteux et beaucoup plus certains quant à leur efficacité, **le travail d'entretien régulier des bras de Sainte-Gemmes et de Saint-Aubin est essentiel.** S'il ne permet pas d'augmenter la capacité de ces bras, il limite le développement de la végétation et donc leur ensablement progressif. La dévégétalisation évite le piégeage de nouveaux sédiments en crue et la scarification de la surface facilite la remobilisation des sédiments en place. Bien que n'apportant pas de réponses aux volets paysager et sanitaire, **ces opérations d'entretien contribuent à la diminution du risque lié aux crues de la Loire en conservant ces deux bras comme bras de décharge efficaces, délestant ainsi efficacement le bras principal.**

L'ingénieur des TPE

Signé

Gwen GLAZIOU

L'ingénieur en hydrologie –
bathymétrie

*Responsable du
Département Sciences de
l'Environnement*

Signé

Jean-Claude JOUANNEAU

XII. BIBLIOGRAPHIE

« Loire » édité par Associations : Confluences – Maison de Loire en Anjou, 2006 – Article intitulé : « Un site de meunerie hydraulique exceptionnel » : les grands moulins-pendus des Ponts-de-Cé, C. CUSSONEAU.

« L'île aux Chevaux, étude floristique, pédologique et hydrologique », Cyril Drouet, Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes – 1996

« Le balisage des Lumières. Evolution du lit de la Loire au XVIIIe siècle. Phénomènes naturels et actions anthropiques. Rapport de synthèse ». D. Fleury, 1994. Conservatoire Régional des Rives de la Loire et ses Affluents (CORELA)

Bibliothèque Nationale de France (documents cartographiques récupérés auprès du Conservatoire Régional des rives de la Loire et de ses affluents (CORELA)) :

- *carte du cours de la Loire dans l'étendue des levées qui la retiennent et qui la borne depuis les Ponts-de-Cé en montant jusqu'à la ville de Gien. – Poictevin 1684*
- *La Loire à l'amont des Ponts de Cé vue par Louis de Regemorte vers 1755*
- *Carte de la Loire par l'ingénieur en chef Coumes 1863 (version colorée)*

Atlas Cantonnale du Maine-et-Loire, 1907 (documents cartographiques)

« La Vallée de la Loire, des Ponts-de-Cé à Bellevue (entre Anjou et Pays Nantais), évolutions et sensibilités », mémoire de thèse de doctorat en Géographie présentée par Patrick CHARRIER en 1997 à l'université de Nantes

« Rapport sur l'abaissement du lit de la Loire », Service Hydrologique Centralisateur d'Orléans, 1980

« Rapport sur l'abaissement du lit de la Loire », Service Hydrologique Centralisateur d'Orléans, 1987

« La Loire : Bras de Sainte-Gemmes : reconnaissance des sols et du toit du substratum rocheux », 1986, CETE de l'Ouest, LRPC d'Angers

« La Loire : secteur Saint-Mathurin – La Pointe : reconnaissance des épaisseurs d'alluvions », 1987, CETE de l'Ouest, LRPC d'Angers

« Amélioration de l'écoulement des eaux dans le bras de Sainte-Gemmes-sur-Loire – Construction d'un épi en tête de l'île aux chevaux », étude SMN, 1973

« Faisabilité économique et sédimentologique d'aménagements hydrauliques de la Loire dans la région des Ponts-de-Cé, rapport d'étude » étude LCHF/SOGREAH pour le compte de l'EPALA et du SHC d'Orléans, 1988

« Aménagements hydrauliques de la Loire dans la région des Ponts-de-Cé, rapport d'étude [modèle réduit] » étude SOGREAH pour le compte de l'EPALA et du SHC d'Orléans, 1989

« Aménagement des bras de Saint-Aubin et de Sainte-Gemmes », étude SOGREAH pour le compte de l'EPALA, Etude d'impact, 1989

« Aménagement du bras de Saint-Aubin et du bras de Sainte-Gemmes », étude SOGREAH pour le compte de l'EPALA, Notice de présentation, 1993

« Aménagement du bras de Saint-Aubin et du bras de Sainte-Gemmes », étude SOGREAH pour le compte de l'EPALA, Etude d'impact, mise à jour du dossier, 1993

« Bras de Saint-Aubin et Sainte-Gemmes, Évaluation des travaux de restauration et d'entretien », étude SCE pour le compte du SMN, 2001

« Le lit de la Loire – Etude d'hydrodynamique fluviale », Mémoire de thèse de doctorat de géographie Yves BABONNAUX, 1970

« Le Val de Loire, étude de géographie régionale », Roger DION, 1934

« Sainte-Gemmes-sur-Loire, des origines à nos jours »

« Histoire des Ponts-de-Cé » par l'Abbé Bretaudeau

SERVICES CONSULTES

- Archives Départementales du Maine-et-Loire
- Service Transport et Navigation de Nantes, STN (ex-SMN ; Service Maritime et de Navigation), à la Direction Départementale de l'Équipement de Loire-Atlantique, DDE 44
- Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture du Maine-et-Loire, DDEA 49
- Arrondissement Interdépartemental des Travaux de Loire (AITL) à la Direction Départementale de l'Équipement du Loiret DDE 45
- Commune de Sainte-Gemmes-sur-Loire et ses archives
- Commune des Ponts-de-Cé et ses archives
- Conservatoire Régional des rives de la Loire et de ses affluents (CORELA)
- Direction Régionale de l'Environnement Centre, DIREN Centre
- Groupement d'Intérêt Public (GIP) Loire Estuaire
- Conseil Général du Maine-et-Loire et en particulier la direction des routes et des déplacements;
- Société d'Équipement du Département de Maine et Loire (SODEMEL) et le personnel de l'usine de captage des eaux en Loire
- Association du camp de César, Sainte-Gemmes-sur-Loire

ANNEXES

- 1 - Plan de situation (cf. chapitre II)**
- 2 - Plan de situation des ouvrages et des PK particuliers (cf. chapitre II)**
- 3 - Cahier des plans et vues aériennes (cf. chapitre III)**
- 4 - Plan indiquant les profils en travers réalisés en novembre 2007 et janvier 2008 par le LRPC de Blois (cf. chapitre VI)**
- 5 - Cahier des profils en travers réalisés en novembre 2007 et janvier 2008 par le LRPC de Blois (cf. chapitre VI)**
- 6. – Cahier des profils en long des fonds et du substratum (cf. chapitre VI et VII)**
- 7 – Cahier des plans indiquant les altitudes du toit du substratum (cf. chapitre VII)**
- 8 - Cahier des cartes représentant le chenal de navigation (cf. chapitre VIII)**

laboratoire
régional des
Ponts
Chaussées
de Blois

et **CETE**
Normandie
Centre

11, rue Laplace
CS 2912
41029 Blois cedex
téléphone :
02 54 55 49 11
télécopie :
02 54 55 48 71
mél : lrpc-blois.cete-nc
@equipement.gouv.fr
internet : www.cete-nc.equipement.gouv.fr

Réseau
Scientifique
et Technique
de l'Équipement

